

ЗЕМЛЯ И

№ 5 (335)

СЕНТЯБРЬ-ОКТАБРЬ, 2020

ISSN 0044-3948

космонавтика
астрономия
геофизика

ВСЕЛЕННАЯ

Нам 55 лет!

СКРЫТЫЙ ОКЕАН ЦЕРЕРЫ

ВИКТОРИНА ЮНЫХ ФИЗИКОВ ОФН РАН

ЭЖЕН АНТОНИАДИ: РАЗРУШИВШИЙ «КАНАЛЫ» МАРСА...

ПОИСК И ОТКРЫТИЕ ЧЕРНЫХ ДЫР
ПРОМЕЖУТОЧНЫХ МАСС
ТЕРАГЕРЦЕВОЕ СОЛНЦЕ

ВЕЛИКИЙ МАРСИАНСКИЙ ДЕСАНТ 2020 ГОДА

НАУЧНО-ПОПУЛЯРНЫЕ ЖУРНАЛЫ ТЕПЕРЬ ДОСТУПНЫ ВСЕМ



Уважаемые коллеги!

Открыта подписка для физических лиц
на номера 2020 г. научно-популярных журналов
«Земля и Вселенная», «Природа»,
«Энергия: экономика, техника, экология»

Журнал «Земля и Вселенная»

Стоимость годового комплекта (6 номеров) 1200 руб.

Редакция журнала

Тел.: +7 (495) 276-77-35 (доб. 42-31)

E-mail: zevs@naukaran.com

Шубинский пер., д. 6, стр. 1

Журнал «Природа»

Стоимость годового комплекта (12 номеров) 3000 руб.

Редакция журнала

Тел.: +7 (495) 276-77-35 (доб. 41-71)

E-mail: priroda@naukaran.com

Шубинский пер., д. 6, стр. 1

Журнал «Энергия: экономика, техника, экология»

Стоимость годового комплекта (12 номеров) 3000 руб.

Редакция журнала

Тел.: +7 (495) 362-07-82

E-mail: energy@iht.mpei.ac.ru

ул. Красноказарменная, 17а

Журналы также можно приобрести в розницу в сети
магазинов «Академкнига» по следующим ценам:

«Земля и Вселенная» – 220 руб.

«Природа» – 270 руб.

«Энергия: экономика, техника, экология» – 270 руб.

реклама

Подписаться можно в редакциях указанных журналов.
Убедительная просьба связаться с редакциями перед визитом.

В случае возникновения вопросов можно также обращаться
в Управление по выпуску журналов ФГУП «Издательство «Наука»:
Тел.: +7 (495) 276-77-35 (доб. 43-01)
E-mail: journals@naukaran.com

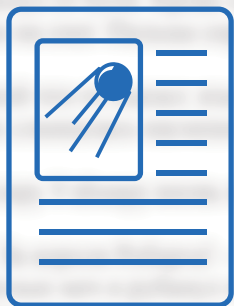


Издательство “Наука” оказывает услуги:

- СОЗДАНИЕ ОРИГИНАЛ-МАКЕТА
 - редактирование
 - вёрстка
 - изготовление рисунков
- ХУДОЖЕСТВЕННОЕ ОФОРМЛЕНИЕ
- ВСЁ КОМПЛЕКС ПОЛИГРАФИЧЕСКИХ УСЛУГ
- РАСПРОСТРАНЕНИЕ В РОЗНИЧНОЙ СЕТИ “АКАДЕМКНИГА”

**Высокопрофессиональные специалисты “Науки”
готовы к сотрудничеству**

naukapublishers.ru



НАУКА

www.libnauka.ru

*Добро пожаловать
в электронную библиотечную систему
Издательства «Наука»!*

Электронная библиотечная система Издательства «Наука» – это простой и удобный доступ к огромной коллекции статей и книг, входящих в портфолио «Науки»

Электронная библиотечная система это:

- научная, научно-популярная и классическая литература, от статей до монографий
- оперативное обновление новинок благодаря тесной интеграции с редакционно-издательской системой «Науки»
- разветвленный тематический каталог
- простая и эффективная система поиска
- интуитивная и простая система оформления заказа и подписок
- прозрачная система статистики
- надежность доступа и стабильность работы

Реклама

Присоединяйтесь к миру «Науки»!

ЗЕМЛЯ И ВСЕЛЕННАЯ

№5 (335)

СЕНТЯБРЬ-ОКТАБРЬ, 2020

ISSN 0044-3948

космонавтика
астрономия
геофизика

Научно-популярный журнал
Российской академии наук
Издается под руководством
Президиума РАН
Выходит с января 1965 года
6 раз в год
«Наука»
Москва

На стр. 1 обложки:

Киммерийская земля
(Terra Simeria) в южном
полушарии Марса. Изображение
было создано с помощью
данных стереокамеры высокого
пространственного разрешения
HRSC AMC «Марс-Экспресс»
(Mars Express, ESA),
полученных 11 декабря 2018 г.
Пространственное разрешение
около 13 м на пиксел, центр
изображения находится примерно
на 171° восточной долготы
и 40° южной широты.
Изображение ESA/DLR/FU Berlin,
CC BY-SA 3.0 IGO

В НОМЕРЕ:

Колонка главного редактора 3

ГОРАДЖАНОВ В.С., ТОПТУН В.А., ЗОЛОТУХИН И.Ю.,
КАТКОВ И.Ю., ЧИЛИНГАРЯН И.В. Поиск и открытие
черных дыр промежуточных масс при помощи
крупных наземных и космических обсерваторий
и данных Виртуальной Обсерватории 5

СТЕПАНОВ А.В. Терагерцевое солнце 15

Космонавтика XXI века

ЛИСОВ И.А. Великий марсианский десант 2020 года 29

АНАНЬЕВА В.И. Скрытый океан Цереры 43

Образование

ГОЛОВАНОВА А.В., МАГАРЯН К.А., НАУМОВ А.В.
Викторина юных физиков Отделения физических
наук РАН. Задачи 47

Люди науки

ЕРЕМЕЕВА А.И. Разрушивший «каналы» Марса...
К 150-летию со дня рождения Э.М. Антониади 53

ПАКШИН П.А., ПАКШИНА Н.А. Астроном-
наблюдатель Михаил Васильевич Ляпунов 66

История науки

ВЕДЕШИН Л.А., ГЕРАСЮТИН С.А. Первые советские
научные эксперименты на Луне. К 50-летию
посадки на Луну «Лунохода-1» 79

СУДАКОВ В.С. Российские двигатели на
американских ракетах 95

Образование

Викторина юных физиков Отделения физических
наук РАН. Решения 106

Table of Content and Selected Abstracts 110

© Российская академия наук, 2020

© Редакция журнала «Земля и Вселенная» (составитель), 2020

© ФГУП «Издательство «Наука», 2020

Earth&Universe: Astronomy, Geophysics, Cosmonautics
Bimonthly popular scientific magazine of the Russian Academy of Sciences & NAUKA Publishing.
Founded 1965.
Published by NAUKA Publishing, Profsoyuznaya Str., 90, 117997, Moscow, Russia.

Редакционная коллегия:

главный редактор
академик Л.М. ЗЕЛЁНЫЙ,
летчик-космонавт
П.В. ВИНОГРАДОВ,
зам. главного редактора
кандидат филолог. наук
О.В. ЗАКУТНЯЯ,
доктор исторических наук
К.В. ИВАНОВ,
летчик-космонавт
А.Ю. КАЛЕРИ,
зам. главного редактора
академик В.М. КОТЛЯКОВ,
кандидат физ.-мат. наук
О.Ю. ЛАВРОВА,
доктор физ.-мат. наук
А.А. ЛУТОВИНОВ,
зам. главного редактора
доктор физ.-мат. наук
О.Ю. МАЛКОВ,
доктор физ.-мат. наук
И.Г. МИТРОФАНОВ,
академик И.И. МОХОВ,
член-корр. РАН
И.Д. НОВИКОВ,
доктор физ.-мат. наук
С.П. ПЕРОВ,
доктор физ.-мат. наук
К.А. ПОСТНОВ,
доктор физ.-мат. наук
М.В. РОДКИН,
научный директор
Московского планетария
Ф.Б. РУБЛЁВА,
член-корр. РАН
А.Л. СОБИСЕВИЧ,
член-корр. РАН
В.А. СОЛОВЬЁВ,
академик
А.М. ЧЕРЕПАЩУК,
доктор физ.-мат. наук
В.В. ШЕВЧЕНКО,
член-корр. РАН
Б.М. ШУСТОВ

Editorial Board:

Editor-in-chief
Acad. Dr. Lev M. ZELENYI
Acad. Dr. Anatoly M. CHEREPASCHUK
Dr. Konstantin V. IVANOV
Pilot-cosmonaut Alexander Yu. KALERI
Deputy Editor-in-chief
Acad. Dr. Vladimir M. KOTLYAKOV
Dr. Olga Yu. LAVROVA
Dr. Alexander A. LUTOVINOV
Deputy Editor-in-chief
Dr. Oleg Yu. MALKOV
Dr. Igor G. MITROFANOV
Acad. Dr. Igor I. MOKHOV
RAS Corr.Member Dr. Igor D. NOVIKOV
Dr. Stanislav P. PEROV
Dr. Konstantin A. POSTNOV
Dr. Mikhail V. RODKIN
Faina B. RUBLEVA
Dr. Vladislav V. SHEVCHENKO
RAS Corr. Member Dr. Boris M. SHUSTOV
RAS Corr. Member Dr. Alexey L. SOBISEVICH
RAS Corr. Member Dr. Vladimir A. SOLOVYEV
Pilot-cosmonaut Pavel V. VINOGRADOV
Deputy Editor-in-chief
Dr. Olga V. ZAKUTNYAYA

Колонка главного редактора

Уважаемые читатели, коллеги, друзья!

Осенью этого года, когда читатели получают пятый номер «ЗиВ», тройца космических аппаратов, запущенных в августе к Марсу (о них подробно рассказывает в своей статье Игорь Лисов), будет еще на пути к Красной планете. Пожелаем им хорошей дороги и мягкой посадки, тем более, что для китайских коллег это будет первая и, судя по составу научной аппаратуры, очень серьезная попытка решить сразу несколько важнейших задач марсианской науки.

А пока давайте поговорим, почему в этой компании не оказалось российско-европейской миссии «Экзо-Марс-2020» в составе российской посадочной платформы «Казачок» и европейского ровера «Розалинд Франклин». Впрочем, разделение на европейскую и российскую части здесь достаточно условно: уровень сотрудничества и взаимосвязанности партнеров в этом проекте исключительно высок. Это первый подобный опыт для нашей промышленности, и именно это, к сожалению, сыграло решающую роль в переносе запуска.

Так оказалось, что проект «Экзо-Марс» стал для меня глубоко личной темой. Переговоры об участии России в проекте шли еще в конце нулевых годов (достаточно долго и сложно). Научное руководство Европейского космического агентства «металось» между сотрудничеством с Россией и США. Мы же были очень заняты подготовкой запуска нашей экспедиции к Фобосу и большого желания участвовать в «ЭкзоМарсе», особенно на тех ролях, что предлагались нам европейской стороной, не испытывали.

Ситуация изменилась в ноябре 2011 г., после того как запуск автоматической межпланетной станции (АМС)



«Фобос-Грунт» оказался неудачным: космический аппарат не смог даже покинуть околоземную орбиту. Предыдущая миссия «Марс-96» закончилась похожим образом, и разочарование ученых и инженеров, которые почти 12 лет готовили новую экспедицию, передать трудно.

С Байконура мы возвращались вместе с академиком М.Я. Маровым на самолете тогдашнего руководителя Федерального космического агентства В.А. Поповкина. Владимир Александрович, видя уныние и даже отчаяние на наших лицах, заговорил об «Экзо-Марсе». Понятно, что подготовка новой миссии к этой планете снова заняла бы не менее восьми лет, а участие в проекте «ЭкзоМарс» давало российским ученым возможность скорее вернуться к изучению Марса.

Поначалу европейская сторона была заинтересована только в российских носителях для выведения европейских аппаратов, но межагентское соглашение, которое уже в 2013 г. подписали В.А. Поповкин и генеральный директор ЕКА Ж.-Ж. Дорден, устанавливало абсолютное равноправие сторон.

Думаю, без решительных действий Владимира Александровича, без его уважения к науке, проект бы не состоялся. К великому сожалению, в 2014 г. В.А. Поповкин трагически ушел из жизни. Но проект набрал обороты, и в марте 2016 г. с Байконура стартовала первая экспедиция – орбитальный аппарат TGO (*Trace Gas Orbiter*) с двумя российскими и двумя европейскими приборами. За эти годы с помощью TGO были получены замечательные результаты, некоторые из которых уже опубликованы в журналах *Nature* и *Science*.

Для меня, правда, большим разочарованием стало отсутствие в данных и российского, и бельгийского спектрометров следов метана, который мог бы свидетельствовать о таинственной биологической активности во влажных подповерхностных слоях. Впрочем, «еще не вечер» – по моему мнению, какие-то мощные кратковременные выбросы нам еще предстоит увидеть.

Параллельно с работой над TGO шла подготовка второй экспедиции с посадкой и доставкой ровера. Довольно скоро стало ясно, что первоначальные планы запуска в 2018 г. нереалистичны и запуск был запланирован на июль 2020 г.

Работа над приборным комплексом для посадочной платформы велась в основном в ИКИ и шла очень напряженно. Тем не менее в запланированный срок в январе 2020 г. все летные научные приборы были установлены на космический аппарат. Сам аппарат испытывался во Франции (Канны) и в Италии (Турин) в компании *Thales Alenia Space*. Несмотря на некоторые нерешенные вопросы, запуск в запланированные даты был несомненно возможен, но 12 марта ГК «Роскосмос» и ЕКА объявили о переносе миссии на 2022 г.

Что же случилось? Часть российской прессы не упустила возможности

в очередной раз «напасть» на «Роскосмос», но всякий, кому не посчастливилось побывать в Италии в это время, сразу поймет, что произошло. Март 2020 г. ознаменовался резким всплеском заболеваемости коронавирусом. Италия – одна из наиболее пострадавших стран – закрыла границы, работы в цехах TAS практически прекратились, в том числе и все процедуры (в них должны были участвовать и многие российские специалисты) с аппаратом и научными приборами, которые должны были проходить в последние – самые «горячие» – месяцы перед запуском.

Не хочется спекулировать на тему, что было бы, если... К сожалению, в условиях пандемии запуск международной экспедиции «ЭкзоМарс-2020» в запланированный срок стал невозможен.

Что же теперь? Запуск миссии «ЭкзоМарс-2022» планируется сейчас на сентябрь 2022 г., а посадка на Марс – в июне 2023 г. Сегодня задача наших и европейских специалистов – поддерживать в рабочем состоянии все системы аппарата, проводить регламентные работы со служебными системами и приборами научного комплекса – проще говоря, сохранить полную работоспособность аппарата и научного комплекса вплоть до запуска в 2022 г.

Конечно, очень жаль, что во флотилии, мчащейся сейчас к Марсу, нет нашего «корабля». Аппарат TGO, который должен будет передавать данные с посадочной платформы на Землю, уже пятый год ждет своего коллегу на орбите. Придется и нам еще несколько лет подождать новых российских результатов о Красной планете и верить, что полоса марсианских неудач осталась позади.

Главный редактор журнала
«Земля и Вселенная»
академик Лев Матвеевич Зелёный

ПОИСК И ОТКРЫТИЕ ЧЕРНЫХ ДЫР ПРОМЕЖУТОЧНЫХ МАСС ПРИ ПОМОЩИ КРУПНЫХ НАЗЕМНЫХ И КОСМИЧЕСКИХ ОБСЕРВАТОРИЙ И ДАННЫХ ВИРТУАЛЬНОЙ ОБСЕРВАТОРИИ



ГОРАДЖАНОВ Владимир Сергеевич¹,

ТОПТУН Виктория Алексеевна¹,

ЗОЛОТУХИН Иван Юрьевич,

доктор физико-математических наук

КАТКОВ Иван Юрьевич²,

кандидат физико-математических наук

ЧИЛИНГАРЯН Игорь Владимирович³,

доктор физико-математических наук

Государственный астрономический институт
им. П. К. Штернберга МГУ им. М.В. Ломоносова

DOI: 10.7868/50044394820050011



Что такое черные дыры промежуточных масс? Наблюдаемые сегодня черные дыры принято класси-

фицировать по их массе на три типа. Первый тип – это черные дыры звездных масс. Массы таких черных дыр ле-

¹ Также физический факультет МГУ им. М.В. Ломоносова.

² Также Нью-Йоркский университет в Абу-Даби, ОАЭ.

³ Также Астрофизическая обсерватория Смитсоновского института, США.



Сверхмассивная черная дыра в центре молодой галактики в представлении художника. Рисунок NASA

жат в пределах около 3–100 солнечных масс, и сценарий их образования хорошо изучен. Второй тип – сверхмассивные черные дыры, имеющие массу, в миллионы и миллиарды раз превышающую солнечную. Третьим типом являются черные дыры промежуточных масс. Именно они будут рассматриваться в этой статье.

Вопрос о том, как формируются сверхмассивные черные дыры, наблюдающиеся в центрах многих галактик, в том числе и Млечного Пути, остается открытым до сих пор. Из моделирования: черной дыре с начальной массой в 50 масс Солнца не хватит и миллиарда лет, чтобы набрать массу вплоть до миллиарда солнечных масс, т. к. существует предельная скорость падения массы на черную дыру, определяемая эддингтоновской светимостью аккреционного диска. Это говорит о том, что существование черных дыр массой более миллиарда масс Солнца в ранней Вселенной в случае их образования посредством простой аккреции вещества возможно только в случае очень большой, сверхэддингтоновской скорости аккреции. Данную проблему могут решить другие гипотезы. Одна из гипотез гласит, что сверхмассивные черные дыры могут образовываться из огром-

ных газовых облаков на заре формирования Вселенной. Еще один вероятный сценарий – формирование сверхмассивных черных дыр непосредственно в результате слияния менее массивных черных дыр, которые тяжелее типичных черных дыр звездных масс, но существенно более легкие, чем сверхмассивные черные дыры, вместе с аккрецией вещества на них. Иными словами, одновременная аккреция материи на черные дыры и их слияние также могли бы объяснить существование сверхмассивных черных дыр на больших красных смещениях. В результате этого выдвинуто предположение о существовании еще одного типа черных дыр – черных дыр промежуточных масс. Эти черные дыры имеют массу порядка 100–100 000 масс Солнца. Они слишком массивны, чтобы образоваться в результате гравитационного коллапса одиночной звезды, но при этом слишком легкие, чтобы считаться сверхмассивными. Раньше такие объекты считались гипотетическими, но сейчас открыты уже сотни кандидатов в черные дыры промежуточных масс, что подтверждает подобный сценарий формирования сверхмассивных черных дыр.

К настоящему моменту существуют три основных гипотезы формирования черных дыр промежуточных масс. Первая предполагает образование черных дыр промежуточных масс в результате слияния нескольких черных дыр звездных масс. Важное свидетельство в пользу этой гипотезы поступило от гравитационно-волновой обсерватории LIGO. В 2016 г. эта обсерватория объявила о первом обнаружении гравитационных волн⁴. Детекторы уловили сигнал от слияния двух

⁴ См. ст. B.P. Abbott (LIGO Scientific Collaboration and Virgo Collaboration) et al. Observation of Gravitational Waves from a Binary Black Hole Merger // Physical Review Letters: Journal. 2016. Vol. 116. No. 6.

черных дыр, массы которых – 29 и 36 солнечных масс. Хотя масса возникшей черной дыры недостаточна, чтобы отнести ее к черной дыре промежуточных масс – всего 62 массы Солнца, – это многообещающий результат. Помимо этого, есть все основания полагать, что черные дыры промежуточных масс формируются в плотных ядрах шаровых скоплений посредством слияния звезд и последующего коллапса. На основе этого предположения долгое время проводились наблюдательные кампании, нацеленные на поиск признаков черных дыр в центрах звездных скоплений, однако они не давали положительных результатов. Третья гипотеза гласит, что черные дыры промежуточных масс могут являться результатом слияний первичных черных дыр или непосредственно самими первичными черными дырами, образованными в момент начала расширения Вселенной.

НАБЛЮДАЕМЫЕ СВИДЕТЕЛЬСТВА

Поиск кандидатов в черные дыры промежуточных масс – непростая задача. Сверхмассивные черные дыры могут иметь вокруг себя аккреционные диски – плотные газовые диски, которые в результате трения и непрерывного падения на черную дыру выделяют колоссальное количество энергии. Эта энергия высвечивается в виде теплового излучения крайне высокой температуры, поэтому регистрация рентгеновского излучения является весомым аргументом в пользу наличия аккрецирующего диска черной дыры. Такое



Один из детекторов LIGO. Фото LIGO

явление называется активностью ядра галактики.

Первые свидетельства существования черных дыр промежуточных масс были получены в двух независимых исследованиях Д. Кунта⁵ и А. Филлипено в конце 1980-х гг⁶. В исследовании были измерены звездные массы двух карликовых галактик с активными ядрами: Рох 52 – карликовой эллиптической галактики и NGC4395 – спиральной галактики низкой светимости. Звездные массы этих галактик приблизительно в миллиард раз превышают солнечную, а значения масс центральных черных дыр в них оцениваются в 300 000 масс Солнца. Однако сейчас эти черные дыры классифицируются как сверхмассивные из-за слишком большой массы.

⁵ Kunth, D. et al. A spectroscopic survey of emission-line objects in two fields // *Astronomy and Astrophysics Supplement Series*. Vol. 44. May 1981. P. 229–239.

⁶ Fillipenko, Alexei V., Ho, Luis C. A Low-Mass Central Black Hole in the Bulgeless Seyfert 1 Galaxy NGC4395 // *The Astrophysical Journal*. Vol. 588. Iss. 1. P. L13–L16.



Галактика ESO 243–49. Кругом отмечен объект HLX-1 – первая подтвержденная черная дыра промежуточных масс. Фото Hubble

Один из первых кандидатов в черные дыры промежуточных масс – HLX-1 (Hyper-Luminous X-ray source 1). Австралийский астроном Шон Фаррелл в 2009 г. с помощью обсерватории XMM-Newton Европейского космического агентства обнаружил этот объект на окраинах галактики ESO 243-49⁷. В результате проведенных исследований в 2012 г., использующих космический телескоп имени Хаббла и обсерваторию Swift, также было обнаружено свидетельство наличия скопления молодых голубых звезд вокруг этого объекта. Это скопление напоминает околоядерное скопление, которое обычно существует вокруг центральных черных дыр в ядрах галактик. Возможно, когда-то HLX-1 был центром галактики-карлика, которую поглотила большая галактика ESO 243-49.

В связи с тем, что аккреционный поток не является постоянным, парциальность падающей на черную дыру материи вызывает некоторые вариации в световом потоке от черной дыры.

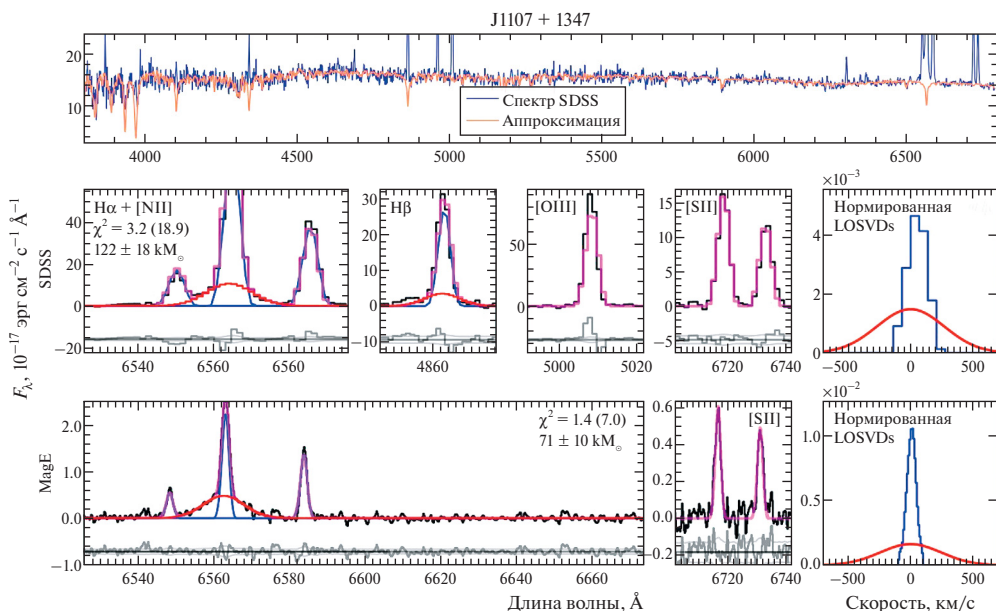
Подобные вариации потока проще зарегистрировать от черных дыр малой массы. Переменность блеска свойственна самому яркому рентгеновскому источнику галактики M82 – M82 X-1. Изменение яркости согласуется с предсказанием модели переменности блеска черной дыры промежуточных масс. Эти изменения яркости зависят от массы черной дыры и вызваны движением материи аккреционного диска. В результате исследования, проведенного в 2014 г. по архивным данным спутника НАСА Rossi X-Ray Timing Explorer (RXTE), в котором были рассмотрены конкретные вариации яркости рентгеновского излучения, было установлено, что масса M82 X-1 составляет около 400 масс Солнца. Однако проведенные в 2020 г. исследования с помощью одновременных наблюдений на обсерваториях *Chandra* и *NuSTAR*, описанные в работе Брайтмана и коллег⁸, показывают, что M82 X-1 не является черной дырой промежуточных масс.

В 2018 г. в результате долгих исследований нашей научной группой была опубликована статья “*A Population of Bona Fide Intermediate-mass Black Holes Identified as Low-luminosity Active Galactic Nuclei*”⁹, в которой представлена обработка данных обзора SDSS (Sloan Digital Sky Survey). Два наблюдаемых феномена позволяют находить центральные черные дыры в большом числе галактик и оценивать их массы: (1) высокие скорости вращения или дисперсии скоростей звезд и газа в околоядерных областях галактик; (2) активность ядер галактик и явление квазаров, причиной появления которых является падение вещества из аккреционного диска на черную дыру. В результате обработки,

⁷ Farrell, Sean A. et al. An intermediate-mass black hole of over 500 solar masses in the galaxy ESO243-49 // *Nature*. Vol. 460. Iss. 7251. P. 73–75 (2009).

⁸ Brightman, Murray et al. Spectral Evolution of the Ultraluminous X-Ray Sources M82 X-1 and X-2 // *The Astrophysical Journal*. Vol. 889. Iss.1. Id. 71.

⁹ *The Astrophysical Journal*. 863 (1): 799–808.



Пример обработки методом NBursts спектра галактики J1107+1347 из каталога SDSS, а также декомпозиции эмиссионных линий

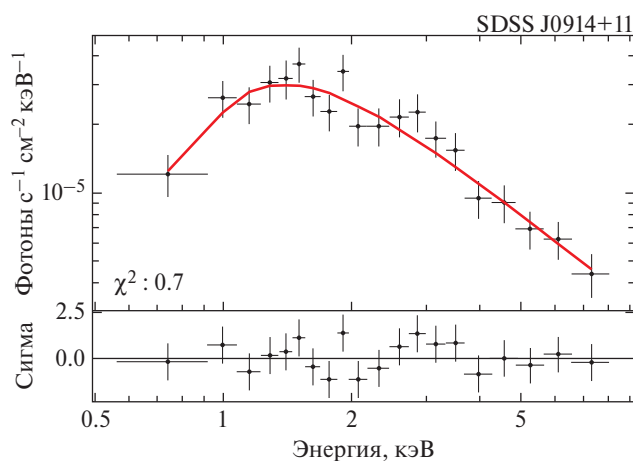
принципиальные элементы которой будут изложены ниже, нами было выявлено 305 кандидатов в черные дыры промежуточных масс в ядрах галактик, что является на сегодняшний день самой большой подобной выборкой. По новым данным обзора SDSS, вышедшим в конце 2018 г., нами были найдены еще несколько десятков кандидатов в черные дыры промежуточных масс.

АНАЛИЗ ДАННЫХ

В XXI веке технологическое и инструментальное развитие приводит к высокому росту объемов получаемых астрономических данных. В результате лишь малая часть получаемой информации детально анализируется и в дальнейшем используется в исследованиях. Например, при наблюдении конкретного, интересующего объекта, в поле зрения телескопа может попасть еще некоторое число объектов, которые в данном исследовании не ис-

пользуются. В связи с этим данные наблюдений необходимо делать публично открытыми для ученых и организовать удобную инфраструктуру доступа к ним. Для хранения, систематизации и последующей обработки наблюдательных данных используются каталоги и архивы. Потенциал существующих астрономических архивов и баз данных для совершения открытий реализован не полностью. В современной астрономии существует международная инициатива Виртуальной Обсерватории, заключающаяся в наиболее удобной систематизации уже имеющихся астрономических данных.

Благодаря наблюдениям, полученным из обзора SDSS, а именно спектрам галактик, и проводя последующую обработку этих спектров, нашей научной группой был создан спектрофотометрический каталог галактик RCSED (<http://rcsed.sai.msu.ru/>), включающий в себя около 800 тысяч спектров галактик. Первая версия каталога



Пример спектра рентгеновского излучения.
Красная линия – его аппроксимация

RCSED была опубликована в 2017 г. и сейчас ведется активная разработка второй. Используя специальный разработанный нами метод NBursts для определения параметров галактик по их спектрам, у сотен тысяч галактик были определены такие параметры, как: красное смещение, дисперсия скоростей, средний возраст звезд, содержание тяжелых элементов, энергетические потоки в эмиссионных линиях и многое другое.

После определения параметров хозяйской галактики косвенно измеряется масса центральной черной дыры. С помощью нашего метода анализа оптических спектральных линий мы можем оценить массу черной дыры, аккреция на которую и порождает феномен активности ядра.

Рентгеновское излучение, порождаемое активным ядром галактики, ионизирует газ в радиусе нескольких килопарсеков от источника этого излучения. Вокруг черной дыры с аккрецирующим горячим диском, испускающим рентгеновское излучение, обращаются плотные облака газа, переизлучающие рентгеновское излучение

в эмиссионных линиях в оптическом диапазоне. Таким образом, в спектре галактики появляются яркие эмиссионные линии. Близкие к центру облака вирилизуются и обладают большими скоростями: сотни-тысячи км/с. Они по эффекту Доплера образуют в оптических эмиссионных линиях водорода широкие компоненты. Поэтому эта область называется областью формирования

широких линий. Характерный размер этой области – 0.01 парсек, т. е. около 2000 а.е. По ширине и потоку таких широких разрешенных рекомбинационных линий можно оценить вириальную массу черной дыры. Более далекие от источника ионизирующего излучения облака, вращающиеся с существенно меньшими скоростями, образуют эмиссионные линии, которые благодаря эффекту Доплера уширены незначительно. Регионы, в которых находятся такие облака, называются областями узких линий. Размеры этих областей – порядка 100 парсек. Мы поставили важную задачу – отделить узкий компонент эмиссионной линии от широкого компонента.

Помимо наблюдаемых рекомбинационных эмиссионных линий водорода обнаруживаются также и запрещенные линии, такие как: дважды ионизованного кислорода (яркий дуплет 495.9 нм и 500.7 нм), единожды ионизованного азота (дуплет 654.8 нм и 658.3 нм) и единожды ионизированной серы (дуплет 671.6 нм и 673.1 нм). Несмотря на то что облака газа являются плотными, запрещенные линии в них все равно наблюдаются, так как плотности облаков недостаточно, для того чтобы происходило ударное снятие возбуждения ионов.

Предполагается, что аккреционный диск вокруг центральной черной дыры окружен пылевым тором, из-за ориентации которого можно наблюдать либо только области узких линий, либо одновременно области узких и широких линий. Согласно исследованиям Тристрама и Шартмана, этот тор имеет радиус вплоть до 20 парсек¹⁰. В случае одновременного наблюдения этих областей активные ядра галактик принято классифицировать как тип I. Если же из-за ориентации пылевого тора наблюдаются только области узкой линии, такие активные ядра галактик классифицируют как тип II. Для определения массы центральной дыры, как писалось выше, необходимым условием является наличие в спектре широкой компоненты эмиссионной линии. Таким образом, интересующий нас тип активных ядер галактик – это тип I.

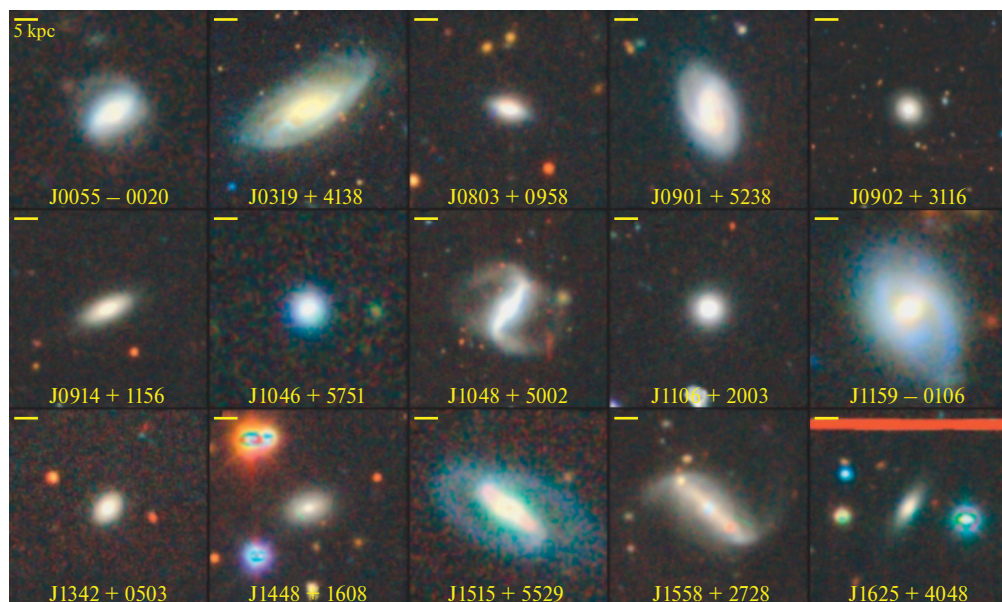
Для разделения узкого и широкого компонента эмиссионных линий используется разработанный нами метод непараметрического анализа узкого компонента. В результате такого модельного описания узкой компоненты эмиссионной линии разность между реальным спектром и его аппроксимацией оказывается минимальной в линиях серии Бальмера. Также этот метод позволяет выделить более слабые широкие компоненты эмиссионной линии. После выделения широкой и узкой компонент мы вычисляем отношение потоков узких компонент эмиссионных линий: $[OIII]/H\beta$ и $[NII]/H\alpha$. Используя BPT-анализ (Baldwin-Phillips-Terlevich), мы определяем в каких галактиках из нашего набора причиной ионизации является активное ядро, а в каких – звез-

дообразование. Отобрав только галактики, у которых ионизация происходит от активного ядра, мы оценили их массы. После применения фильтра, отсеивающего галактики с центральными черными дырами, имеющими массу более чем 200 тысяч масс Солнца, галактики, имеющие спектры с низким отношением сигнал/шум, и галактики со статистически незначимыми измерениями в целом, а затем отфильтровав выборку по относительной силе и ширине узких и широких компонентных линий, мы получили 305 кандидатов в черные дыры промежуточных масс. В отличие от других подобных работ по поиску черных дыр промежуточных масс, мы искали кандидаты в черные дыры промежуточных масс сразу в большом массиве из 800 тысяч галактик, а затем выделяли наиболее успешные кандидаты согласно описанному выше фильтру.

Используя спектральные данные, полученные в 2018 г. из каталога SDSS проекта eBOSS (Extended Baryon Oscillation Spectroscopic Survey), мы обработали выборку из 154 тысяч галактик и по изложенному выше принципу нашли еще 18 кандидатов в черные дыры промежуточных масс.

После того как кандидаты в черные дыры промежуточных масс найдены, необходимо проверить, действительно ли они являются черными дырами промежуточных масс. Подтверждение таких кандидатов – следующая важная задача в изучении этих крайне редких объектов. Так как черные дыры промежуточных масс являются активными ядрами галактик, испускающими мощное рентгеновское излучение, наличие этого излучения является критерием достоверности кандидата. Поэтому нам необходимо измерить рентгеновскую светимость, регистрируемую рентгеновскими орбитальными обсерваториями. В начале проводится проверка на наличие

¹⁰ Tristram, K. R. W.; Schartmann, M. On the size-luminosity relation of AGN dust tori in the mid-infrared // *Astronomy & Astrophysics*. Vol. 531. Id. A99. P. 9.



Новые галактики, центральные черные дыры которых являются подтвержденными кандидатами в черные дыры промежуточных масс

найденных кандидатов в рентгеновских обзорах неба. Основная проблема состоит в том, что на данный момент рентгеновскими наблюдениями покрыта малая часть неба – всего несколько процентов, так как существующие рентгеновские обсерватории ориентированы на детальные наблюдения за конкретными источниками, а не на широкомасштабные обзоры. Для получения данных мы использовали каталоги и архивные наблюдения обсерваторий *XMM-Newton*, *Chandra*, *Swift* и *ROSAT*, а также наши собственные наблюдения на *Chandra* и *XMM-Newton*.

Основной задачей является определение светимости интересующих объектов. Однако стоит помнить, что в рентгеновском диапазоне светимость галактики складывается не только из излучения аккреционного диска центральной черной дыры, но и из излучения звездного населения галактики. Из старого звездного населения

в рентгене излучают маломассивные рентгеновские двойные. Время жизни этих объектов очень велико, поэтому их количество, а значит, и общий вклад в светимость галактики – пропорционально количеству старых звезд. Другой источник рентгеновского излучения в галактиках относится к молодому звездному населению – это массивные рентгеновские двойные. Из-за их малого времени жизни количество таких двойных связано с темпом звездообразования. Таким образом, зная суммарную массу звездного населения и темп звездообразования из каталога GSWLC, можно рассчитать рентгеновскую светимость звездного населения галактики. Если полученная рентгеновская светимость из наблюдений превышает рассчитанную светимость от звездообразования, то еще одним источником рентгеновского излучения является аккреционный диск центральной черной дыры галактики.

Как показал Питер Фриман¹¹, помимо светимости, если источник достаточно яркий в рентгеновском диапазоне, можно также получить и его рентгеновский спектр. Форма спектра указывает на природу источника и подтверждает, что это не что иное, как излучение аккреционного диска черной дыры.

В результате описанной выше работы в статье 2018 г. наблюдениями в рентгеновском диапазоне были подтверждены, как достоверные, 5 новых черных дыр промежуточных масс. Для них были выполнены наблюдения второй эпохи спектроскопических оптических наблюдений на 6.5-метровом телескопе «Магеллан» в Чили в целях получения информации с большим спектральным разрешением. После редукции данных, полученных на спектрографе телескопа «Магеллан», мы извлекаем более подробную информацию об эмиссионных линиях спектров галактик с центральными черными дырами – кандидатами в черные дыры промежуточных масс. В связи с нашими новыми наблюдениями и публикацией новых рентгеновских каталогов, число подтвержденных кандидатов увеличилось на 15 объектов, что значительно увеличило выборку известных на данный момент достоверных черных дыр промежуточных масс.

На основе полученных результатов можно сделать выводы о возможных

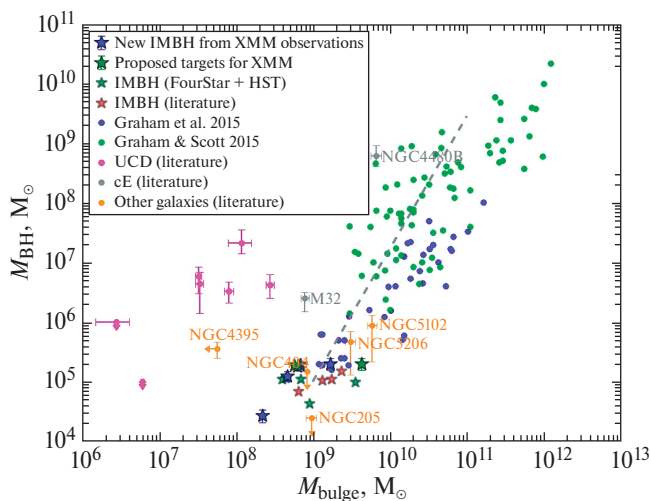


График зависимости массы центральной черной дыры галактики от массы балджа галактики. Нанесены как сверхмассивные черные дыры, так и описанные в работе черные дыры промежуточных масс.

Синими звездами отмечены IMBH (Intermediate Mass Black Hole) – черные дыры промежуточных масс из каталога наблюдений XMM-Newton. Крупными зелеными звездами отмечены те черные дыры промежуточных масс, которые наблюдались нами на обсерватории XMM-Newton. Зелеными звездами меньше показаны кандидаты в черные дыры промежуточных масс, которые наблюдались нами на FourStar – одном из спектрографов телескопа Магеллан и HST (Hubble Space Telescope) – космическом телескопе имени Хаббла. Красными звездами отмечены уже известные черные дыры промежуточных масс, полученные другими исследованиями. Кружками помечены другие галактики

способах формирования сверхмассивных черных дыр. При помощи фотометрического моделирования снимков галактик и соотношения между их звездной массой и светимостью были получены массы балджей галактик. Это позволило построить зависимость массы центральной черной дыры от массы балджа галактики – и как видно на

¹¹ Freeman, Peter et al. Sherpa: a mission-independent data analysis application // Astronomical Data Analysis, Jean-Luc Starck; Fionn D. Murtagh; Eds. Proc. SPIE. Vol. 4477. P. 76–87.

графике, черные дыры промежуточных масс хорошо ложатся на зависимость, полученную для сверхмассивных черных дыр. То, что вместе с ростом центральных черных дыр наблюдается рост балджа, говорит о том, что наиболее вероятным механизмом образования сверхмассивных черных дыр являются слияния менее массивных черных дыр.

Помимо этого, нами было обнаружено, что у некоторых объектов из выборки черных дыр светимость в рентгеновском диапазоне очень велика – 7–10 % от предельной, эддингтоновской светимости. Если переводить это значение в болометрическую светимость, получится, что черная дыра излучает с максимально возможной мощностью, что говорит о невероятно сильном темпе аккреции, а значит, и о высокой скорости роста. Причины подобного эффекта все еще требуют размышлений.

ПЕРСПЕКТИВЫ

Для того чтобы узнать больше о таких загадочных и при этом важных объектах, как черные дыры промежуточной массы, и их роли в формировании Вселенной (такой, какая она есть сейчас), необходимо расширять выборки кандидатов в черные дыры и выборки подтвержденных объектов.

В дальнейшем нами планируется глобальное расширение каталога RCSED, в который будут включены после обработки все спектры из обзора SDSS, а также спектры других массовых обзоров, таких как 2dFGRS, 6dFGS, ZTF, CFA, NECTOSPEC, LAMOST, LEGA-C, DEEP2, DEEP3, WIGGLEZ, GAMA DR3. Новая версия RCSED будет использовать улучшенный метод обработки спектров галактик NBursts, параметры будут определяться с большей точностью, а количество определяемых параметров возрастет: например, в результате обработки спектров будет определяться относительное

содержание альфа-элементов в галактиках. В результате RCSED2 будет представлять собой однородный каталог спектров галактик из множества каталогов, количество галактик увеличится в 6 раз и будет найдено куда больше кандидатов в черные дыры промежуточных масс.

В целях получения информации с большим спектральным разрешением для кандидатов в черные дыры промежуточных масс и проведения второй эпохи спектроскопических оптических наблюдений также планируется использовать двухлучевой спектрограф TDS Кавказской горной обсерватории ГАИШ МГУ.

Кроме того, большой проблемой для подтверждения кандидатов в черные дыры является недостаток данных в рентгеновском диапазоне. Будет продолжена наша наблюдательная программа на рентгеновских орбитальных обсерваториях *XMM-Newton* и *Chandra*. Мы рассчитываем на получение данных еще как минимум для десяти объектов при помощи *XMM-Newton*. Мы регулярно подаем заявки на наблюдательное время на обсерватории *Chandra*, а полная выборка из 305 кандидатов в черные дыры промежуточных масс была принята *Chandra* для наблюдения нескольких объектов в год. Помимо этого, с недостатком данных в рентгеновском диапазоне в ближайшем будущем должна справиться российская орбитальная обсерватория «Спектр-РГ», запущенная летом 2019 г. и оснащенная двумя рентгеновскими телескопами: ART-XC (Россия) и eROSITA (Германия). В планы миссии входит обзор всей небесной сферы с высокой точностью – в мае 2020 г. обсерватория исследовала уже три четверти всего неба, захватив множество ранее неизученных областей. Благодаря данным, которые будут получены в результате работы этого проекта, количество подтвержденных кандидатов в черные дыры промежуточных масс увеличится в разы и даже в десятки раз.

ТЕРАГЕРЦЕВОЕ СОЛНЦЕ



СТЕПАНОВ АЛЕКСАНДР ВЛАДИМИРОВИЧ,

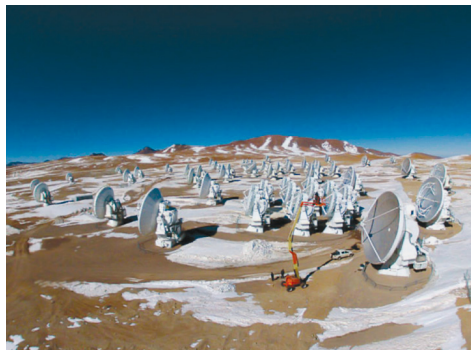
член-корреспондент РАН

Главная (Пулковская) астрономическая обсерватория РАН, Санкт-Петербург

DOI: 10.7868/S00044394820050023

Столетие назад астрономия основывалась исключительно на оптических наблюдениях. С развитием рентгеновских исследований, радиофизики и появлением обсерваторий в Космосе астрономия стала многоволновая. Сегодня для исследования Вселенной привлекаются, наряду с наблюдениями в оптике, данные о рентгеновском и гамма-излучении, развиваются наблюдения в ультрафиолетовом, инфракрасном и радиодиапазонах, совершенствуются способы обнаружения нейтрино и гравитационных волн. Особое место в исследовании Вселенной принадлежит субтерагерцевому и терагерцевому диапазонам.

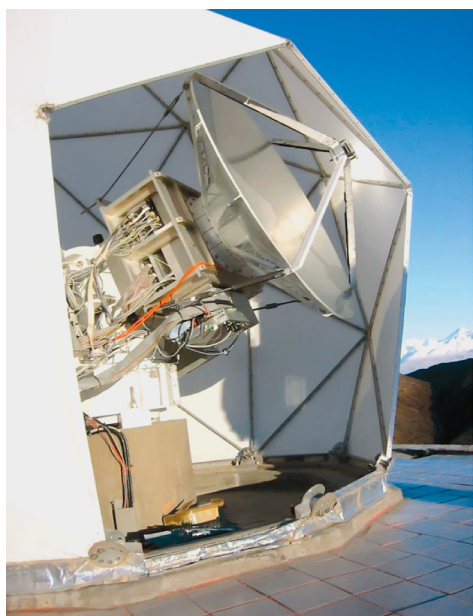
В самом деле, последние достижения в области астрономии в значительной мере связаны с наблюдениями в диапазоне миллиметровых и субмиллиметровых длин волн (длина волны $\lambda = 1$ мм соответствует частоте $\nu = 0.3$ ТГц, а 1 ТГц соответствует $\lambda = 0.3$ мм). Наиболее яркое достижение субтерагерцевой астрономии – наблюдения сверхмассивной черной дыры в Галактике М-87 на длине волны 1.3 мм (частота 0.23 ТГц)¹. Актуальные



ALMA расположен в пустыне Атакама на высоте 5 км (Чили). Состоит из 66 антенн, из которых 54 диаметром 12 м и 12 антенн диаметром 7 м. Работает в 14 частотных полосах в диапазоне от 0.084 до 1.6 ТГц

¹ The Event Horizon Telescope Collaboration, 2019 <https://doi.org/10.3847/2041-8213/ab0ec7>

Иллюстрация на заставке: NASA/SDO



Слева: телескоп SST (212 и 405 ГГц) диаметром 1.5 м, расположенный в Аргентинских Андах на высоте 2100 м. Справа: проф. Пьер Кауфман (1938–2017) – один из основателей терагерцевой астрономии, создатель SST

астрофизические задачи решаются на радиоинтерферометре ALMA (Atacama Large Millimeter/submillimeter Array). ALMA предназначен в основном для изучения процессов, происходивших на протяжении первых сотен миллионов лет после Большого Взрыва. С помощью ALMA планируется получить новые данные, объясняющие механизмы эволюции Вселенной. Тем не менее часть наблюдательного времени ALMA посвящается исследованиям активности Солнца.

Создаваемая в России космическая обсерватория «Миллиметрон», с которой можно ознакомиться в работе Н.С. Кардашёва и его коллег², направлена на исследования широкого класса объектов –

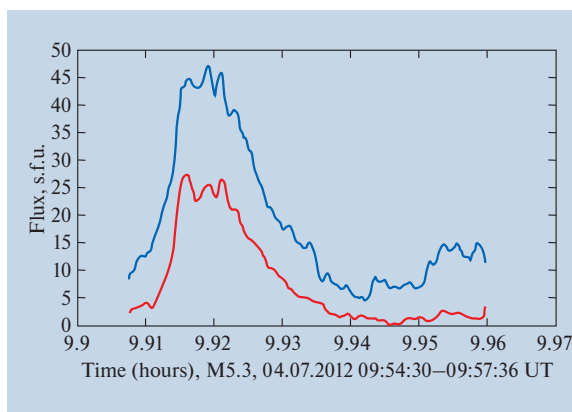
от протозвезд, звездных скоплений до черных дыр, джетов и галактик.

Пространственное разрешение наблюдаемого объекта определяется отношением длины волны к апертуре телескопа. Поэтому субмиллиметровый и миллиметровый диапазоны длин волн более перспективны для детального исследования Вселенной по сравнению с метровым и сантиметровым диапазонами. Например, это было успешно реализовано в проекте межконтинентального интерферометра Horizon Telescope Collaboration. Солнечные телескопы суб-ТГц и ТГц частот позволяют исследовать нижние слои солнечной атмосферы – хромосферу и фотосферу, в которых происходят наиболее мощные процессы энерговыделения, например, вспышки в белом свете. В этих областях атмосферы возбуждаются магнитогидродинамические волны, которые являются одним

² Кардашёв Н.С., Новиков И.Д., Лукаш В.Н. и др. Обзор научных задач для обсерватории «Миллиметрон» // УФН. 2014. Т. 184, № 12. С. 1319–1352.



Телескоп KOSMA (210 и 345 ГГц),
расположенный в Швейцарских Альпах на
высоте 3150 м

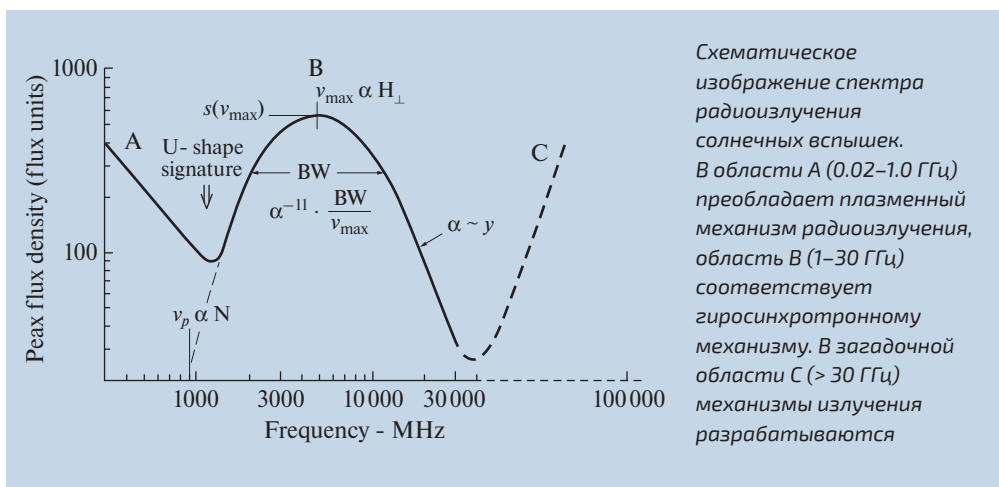


Радиотелескоп МГТУ им. Н.Э. Баумана
диаметром 7.5 м, расположенный
в г. Дмитров (Московская обл.).
Слева: кривые блеска на 93 ГГц
(красная) и 140 ГГц (синяя) вспышки
4 июля 2012 г., полученные на РТ-7.5,
свидетельствующие о росте потока
излучения с частотой. Поток
радиоизлучения Солнца измеряется
в солнечных единицах потока (sfu).
 $1 \text{ sfu} = 10^{-22} \text{ Вт/м}^2 \text{ Гц} = 10^4 \text{ Янский}$

из источников нагрева короны Солнца до миллиона градусов Кельвина.

Обнаружение в 80-х годах интенсивного излучения солнечных вспышек в субтерагерцевом диапазоне (описанных в работе Кауфмана в 1986 г.) явилось одним из вызовов в физике Солнца. Вместо ожидаемого падения потока излучения с ростом частоты, наблюдаемого обычно в диапазоне 5–30 ГГц, уровень излучения на частотах вблизи 100 ГГц был повышенным. Наиболее существенный вклад в исследова-

ние солнечного субтерагерцевого излучения внесли бразильские радиоастрономы благодаря наблюдениям на солнечном субмиллиметровом телескопе SST (Solar Sub-mm Telescope) на частотах 212 и 405 ГГц, а также германские и швейцарские ученые с помощью телескопа KOSMA (Köln Observatory for Submillimeter and Millimeter Astronomy) на частотах 210 и 345 ГГц. В России наблюдения солнечных вспышек на частотах 90 и 140 ГГц проводятся на пока единственном в стране субмиллиметро-



вом радиотелескопе МГТУ им. Н.Э. Баумана диаметром 7.5 м в сотрудничестве с учеными Крымской и Пулковской обсерваторий и Санкт-Петербургского университета.

РЕЗУЛЬТАТЫ ТЕРАГЕРЦЕВЫХ НАБЛЮДЕНИЙ СОЛНЦА

До появления наблюдений в суб-ТГц и ТГц диапазонах радиоспектр солнечной вспышки характеризовался S-образной формой. Нисходящая часть (20–1000 МГц) объяснялась на основе плазменного механизма радиоизлучения, предполагающего генерацию плазменных (ленгмюровских) волн ускоренными электронами в короне Солнца с последующей трансформацией плазменных волн в электромагнитные. Колоколообразная часть спектра (1–30 ГГц) связывалась с гиросинхротронным излучением электронов с энергией 50–300 кэВ. При этом поток радиоизлучения F_ν после 5–6 ГГц падает с частотой ν , что описывается соотношением $F_\nu \propto \nu^\alpha$, $\alpha < 0$. Наблюдения в суб-ТГц диапазоне выявили W-образный частотный спектр излучения солнечных вспышек: поток излучения увеличивается на

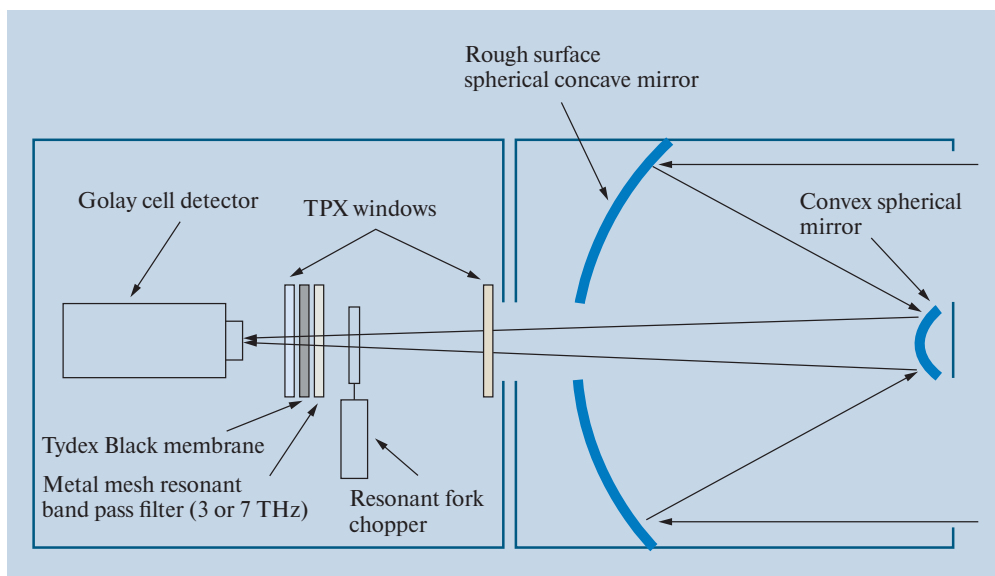
Эксперимент Solar-T в Антарктиде на базе МакМёрдо



Подвесная платформа с научной аппаратурой, на которой был установлен Solar-T



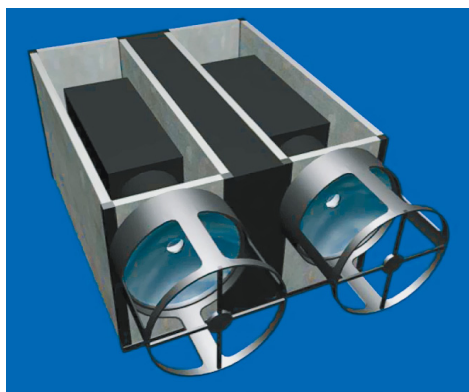
Начало подъема научной аппаратуры в стратосферу



Эксперимент Solar-T в Антарктиде на базе МакМёрдо.

Вверху: оптическая схема телескопа (Кассегрен).

Справа: радиометры на 3 и 7 ТГц с апертурой 7.6 см

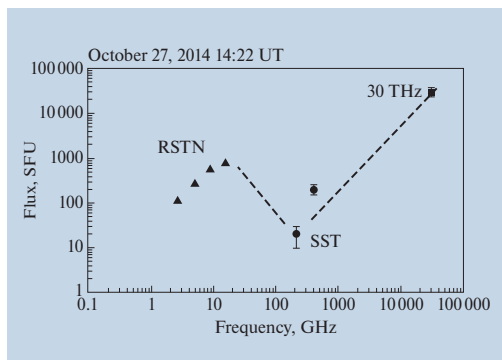


частотах $> 50\text{--}100$ ГГц и простирается далее в терагерцевую область. Недавнее исследование 17 суб-ТГц вспышечных событий группой британских и российских ученых (Kontar et al., 2018) показало, что в 14 событиях показатель спектра $\alpha = (0.5 + 3.4)$, т. е. поток излучения в диапазоне $100\text{--}400$ ГГц растет с увеличением частоты, и лишь в трех событиях характеризуется отрицательным показателем $\alpha = -(0.3 + 1.5)$. Причина увеличения потока суб-ТГц излучения с частотой является одной из загадок солнечных вспышек.

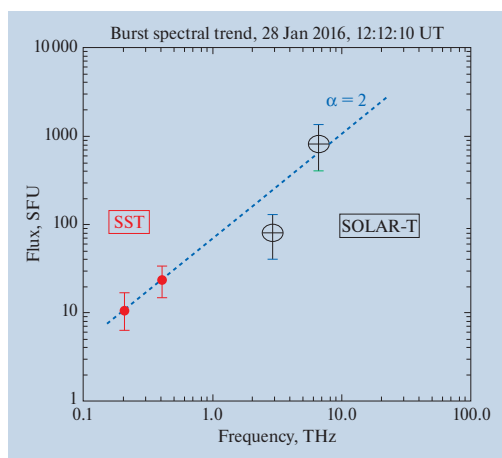
Развитие терагерцевой астрономии ограничивается сильным поглощением миллиметрового и субмиллиметрового излучения земной атмосферой, в частности, молекулярным кислородом и парами воды. Поэтому наблюдения на телескопах SST и KOSMA проводятся в горах. Современная тера-

герцевая астрономия развивает наблюдения в Антарктиде, в пустыне Атакама с чрезвычайно сухим климатом, где расположен ALMA, проводит наблюдения на баллонах. В 2016 году П. Кауфман с коллегами на новом телескопе Solar-T (3 и 7 ТГц) провел стратосферные баллонные наблюдения (высота $30\text{--}40$ км) солнечных вспышек на антарктической базе США МакМёрдо.

Антарктические наблюдения подтвердили наличие растущего с частотой потока излучения, теперь уже в диапазоне $3\text{--}7$ ТГц. Более того, тенденция роста потока излучения сохраняется до 30 ТГц ($10\text{ }\mu\text{м}$), т. е. в дальнем инфракрасном

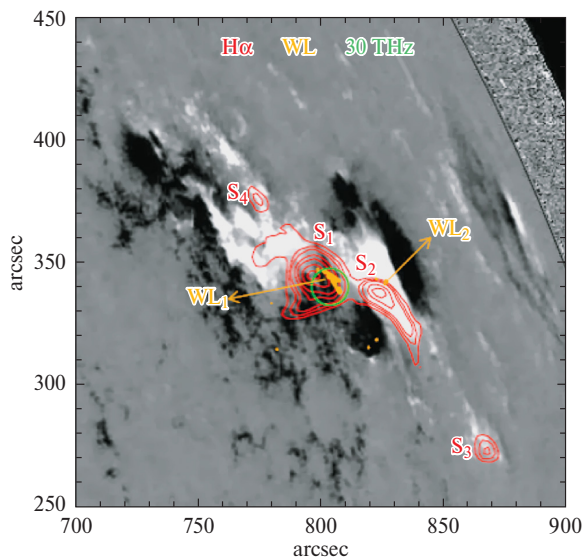


Спектр излучения в максимуме солнечной вспышки 27 октября 2014 г. с потоком излучения на 30 ТГц порядка 10^4 sfu. Указаны также значения потоков на 2–20 ГГц и на 212 и 405 ГГц (SST). Изображение из статьи Kaufmann et al. JGR. 2015, 120, 4155



Спектр излучения солнечной вспышки 28 января 2016 г. с данными SST (0.2 и 0.4 ТГц) и Solar-T (3 и 7 ТГц). Изображение из статьи Kaufmann et al. IEEE. 2016

диапазоне. Важно заметить, что источник излучения на частоте 30 ТГц совпадает с областью вспышки в белом свете.



Изображение вспышки в белом свете 13 марта 2012 г. Красные линии уровня обозначают вспышку в H α , желтые – источники вспышки в белом свете, зеленый круг – источник 30 ТГц, совпадающий с источником «белой» вспышки. Изображение из статьи Trottet et al. Solar Phys. 2015

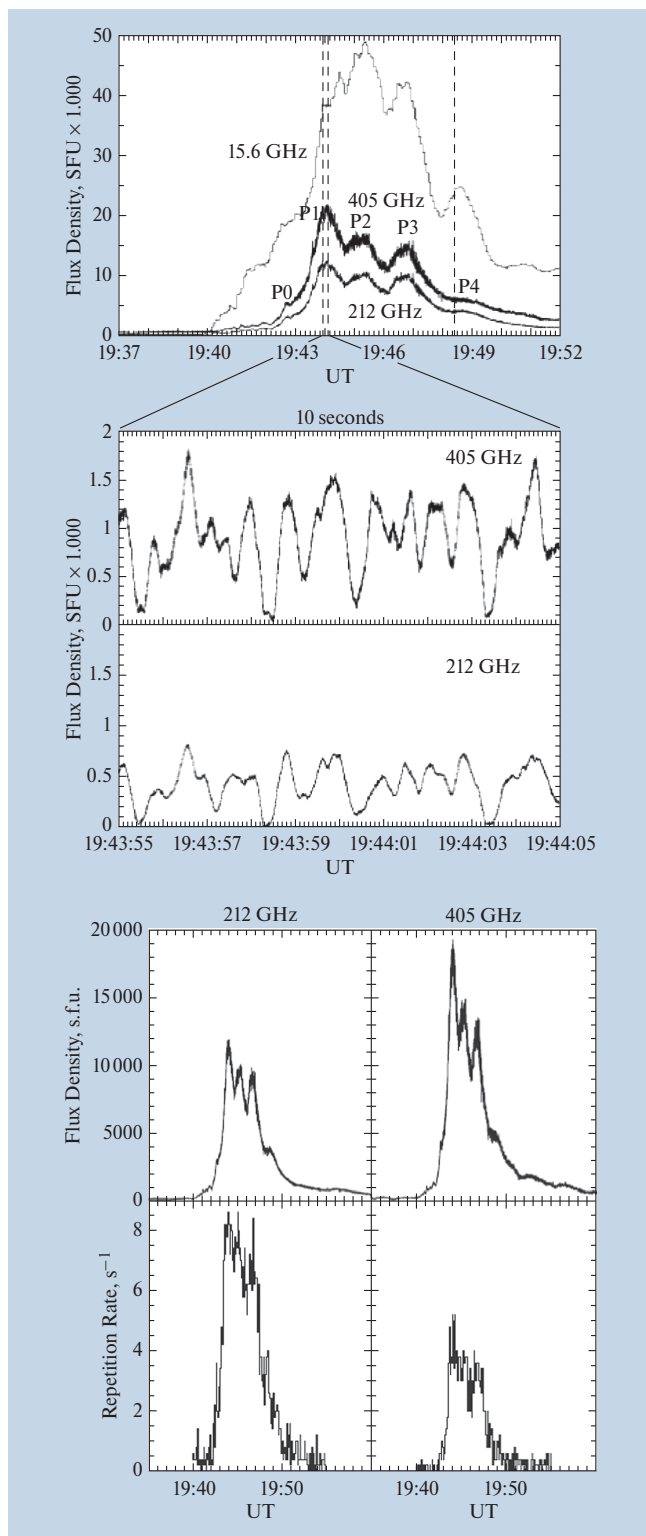
Еще одним загадочным явлением суб-ТГц излучения Солнца является его тонкая структура в виде пульсаций с характерным временным масштабом секунды–доли секунды. Весьма необычно выглядит подобие временных профилей потока излучения и частоты пульсаций.

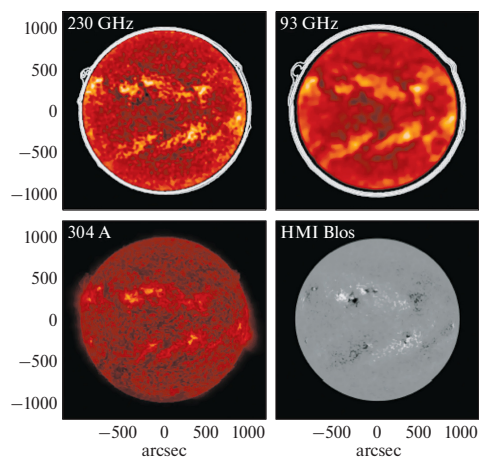
Если на одиночных радиотелескопах регистрируются, как правило, кривые блеска вспышек, то радиоинтерферометры позволяют построить изображение источников. Мощным инструментом для получения детальных изображений солнечного диска и отдельных активных областей является ALMA. На рисунке представлены карты солнечного диска (угловой размер около 32'), полученные на частотах 230 и 93 ГГц. Недавно из анализа наблюдений Солнца на ALMA ($\lambda = 3$ мм) в хромосфере обнаружены протяженные

Солнечная вспышка 4 ноября 2003 г. с пульсациями, зарегистрированная SST. Нижний график: кривые блеска на частотах 15.6 ГГц (радиометр), 212 и 405 ГГц (SST). Средний график: 10 с интервал кривых блеска с синхронными пульсациями на двух частотах. Изображение из статьи Kaufmann et al. *ApJ*. 2004, 603, L121. Вверху: необычное подобие временных профилей всплесков на 212 и 405 ГГц и временных профилей частоты пульсаций. Изображение из статьи Kaufmann et al. *ApJ*. 2009, 697, 420

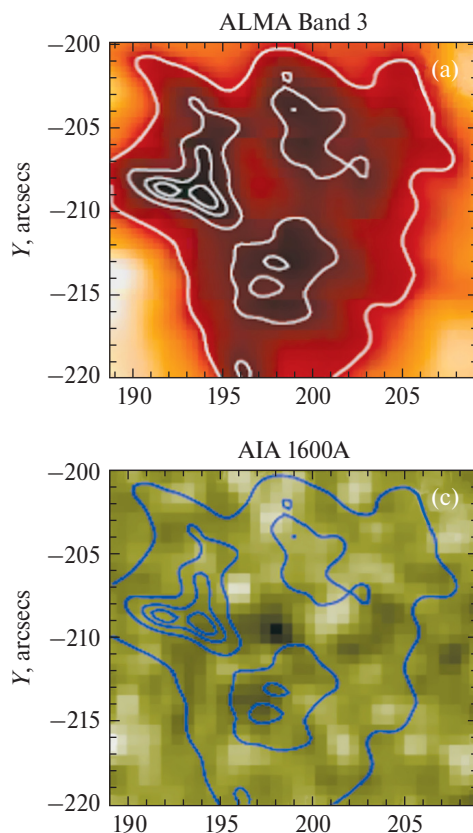
темные и холодные области с температурой, составляющей 60% от температуры спокойного Солнца. Эти области неразличимы на изображениях, полученных другими инструментами, установленными, например, на космической обсерватории SDO (Solar Dynamic Observatory). Такие темные области представляют собой холодный хромосферный газ.

Возможности ALMA иллюстрирует также рисунок, на котором представлено изображение солнечного пятна (длина волны $\lambda = 1.25$ мм) и выброс плазмы с плотностью $3 \cdot 10^9 \text{ см}^{-3}$ и температурой $\sim 10^5$ К из яркой рентгеновской точки на поверхности Солнца.





Первые результаты наблюдений Солнца на ALMA. Справа: карты солнечного диска 17 декабря 2015 г. на частотах 230 и 93 ГГц, полученные на одиночной 12 м антенне методом быстрого сканирования; приведены также наблюдения SDO (Solar Dynamic Observatory) в линии 304 Å и карта магнитных полей (HMI/SDO). Изображение из статьи White et al. Solar Phys. 2017, 292, 87. Справа сверху: изображение области спокойного Солнца 17 апреля 2017 г. размером 20" × 20" на частоте 100 ГГц, полученное в конфигурации, включающей 38 антенн диаметром 12 м и 8 антенн диаметром 7 м. Справа внизу: та же область, полученная AIA/SDO в линии 1600 Å. Контурные области



пониженной температуры в хромосфере соответствуют яркостной температуре 5700, 5800, 6000 и 6500 К. Изображение из статьи Loukitcheva et al. ApJ. 2019, 877, L26

Программы наблюдений Солнца на ALMA весьма разнообразны: от изучения спокойного Солнца, его хромосферы и переходной области, где преобладают тепловые механизмы излучения, до изучения вспышек, в которых реализуются нетепловые механизмы излучения. Сформированы несколько международных исследовательских групп для изучения с помощью ALMA структуры солнечной хромосферы, протуберанцев, временной и пространственной эволюции вспышек и их предвестников.

МЕХАНИЗМЫ ИЗЛУЧЕНИЯ

Открытие субтерагерцевой компоненты излучения солнечных вспышек стимулировало создание теоретических моделей этого излучения. В настоящее время обсуждаются около десяти моделей миллиметрового и субмиллиметрового излучения Солнца, которые можно разделить на тепловые, когда источником излучения является тепловая плазма, и нетепловые, когда за излучение ответственны

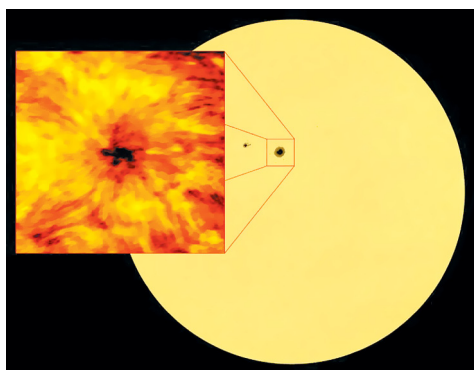
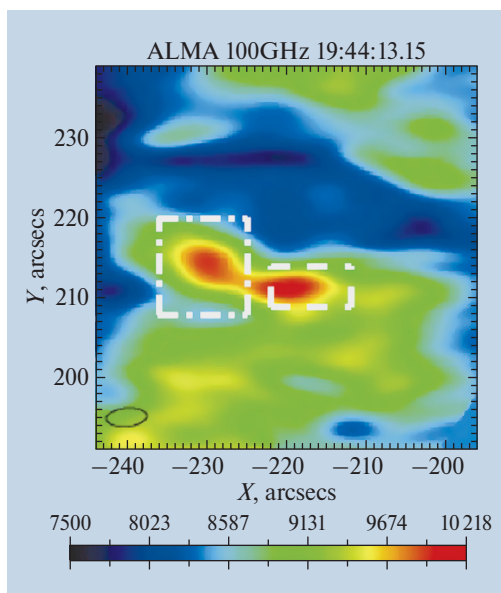


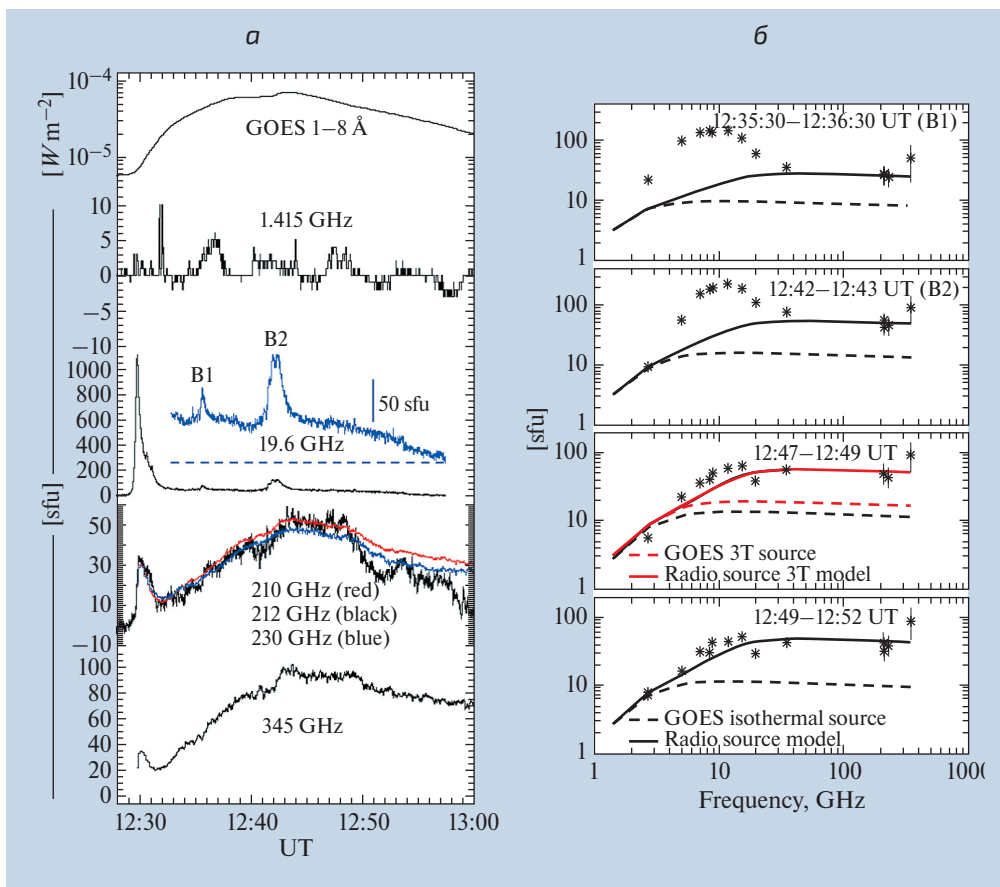
Иллюстрация возможностей ALMA в исследовании Солнца. Вверху: изображение солнечного пятна. Справа: выброс плазмы из яркой рентгеновской точки 17 декабря 2015 г. Внизу указана шкала температур. Изображение из статьи Shimojo et al. *ApJ*. 2017, 841, L5



ускоренные заряженные частицы. Значительное число наблюдавшихся субтерагерцевых вспыхечных событий объясняется на основе тепловой модели. В этой связи отметим наблюдения на SST (212 и 405 ГГц), KOSMA (230 и 345 ГГц) и швейцарском радиотелескопе BENRAC (210 ГГц) после импульсной фазы вспышки 27 октября 2003 г., сопровождавшиеся наблюдениями мягкого рентгеновского излучения (GOES) и радиоизлучения в интервале частот 1.4–19.6 ГГц (Trottet et al. 2011). Основным вывод наблюдений вспышки 27 октября 2003 г. следующий. За исключением нетеплового импульсного всплеска В2 на частоте 19.6 ГГц механизм радиоизлучения вспышки после импульсной фазы, т. е. после 12:32 UT, тепловой тормозной (free-free). При этом излучение с частотой ниже 230 ГГц генерируют корональные магнитные петли, содержащие как «холодную» (1–3 МК), так и горячую (7–16 МК) плазму. В то же время источником излучения с частотой 345 ГГц являются

хромосферные основания магнитных петель с температурой $(2-4) \cdot 10^4$ К. Отметим подобие временных профилей мягкого рентгеновского и суб-ТГц излучения.

Подобием кривых блеска мягкого рентгеновского излучения и излучения с частотами 93 и 140 ГГц, наблюдавшегося на РТ-7.5 м МГТУ, обосновывалась также тепловая природа суб-ТГц излучения вспышки 2 апреля 2017 г. Пулковскими и крымскими астрономами было установлено, что источником излучения вспышки 2 апреля 2017 г. является плазма переходной области с температурой $3 \cdot 10^5$ К, заполнившая магнитные петли вследствие испарения нагретой хромосферы (Morgachev et al., 2018). На основе анализа 13 вспыхечных событий группой британских и российских ученых было показано, что источником теплового тормозного излучения с положительным наклоном спектра на частотах от 93 до 405 ГГц являются хромосферные вспыхечные ленты с температурой от 10^4 до 10^6 К (Kontar et al., 2018).



Слева (а): кривые блеска мягкого рентгеновского и радиоизлучения на частотах от 1.415 до 345 ГГц вспышки. Справа (б): радиоспектры вспышки 27 октября 2003 г. в различные моменты времени; сверху вниз: спектры, соответствующие всплескам B1 и B2, на фазе плато и фазе спада потока излучения. Штриховые линии означают расчетные спектры излучения изотермической плазмы, сплошные линии – спектры, полученные из двухтемпературной модели. Изображение из статьи Trottet et al. 2011

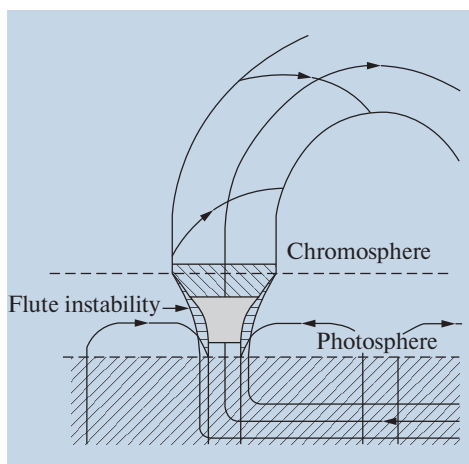
Важной характеристикой, определяющей природу излучения, является яркостная температура, связанная с потоком излучения соотношением $T_b = F_\nu(c^2 d^2 / 2\nu^2 kA)$. Здесь d – расстояние от Солнца до Земли, т. е. одна астрономическая единица, $1 \text{ а.е.} = 1,496 \cdot 10^{13} \text{ см}$, k – постоянная Больцмана, A – площадь источника. Если величина $T_b > 10^9 \text{ K}$, то излучение нельзя считать тепловым. Для определения яркостной температуры излучения по по-

току необходимо знать площадь источника излучения. На одиночных телескопах в большинстве случаев не удается определить размеры и конфигурацию источника излучения. Поэтому иногда используются изображения источника в ультрафиолетовом или в рентгеновском излучении, что, вообще говоря, некорректно. Радиointерферометр ALMA позволит определять размеры источников мм и суб-мм вспыхивающего излучения с достаточной точностью.

При объяснении излучения на импульсной фазе вспышек и в достаточно мощных событиях невозможно ограничиться тепловыми моделями. На примере вспышки 5 июля 2012 г. было показано, что положительный наклон спектра излучения в диапазоне 93–140 ГГц не вызван излучением тепловой корональной плазмы. Наблюдаемый вид спектра обязан гиротронному излучению электронов с энергией > 300 кэВ (Tsap et al. Solar Phys. 2018). При этом область генерации должна располагаться в хромосфере или переходной области Солнца.

Возможность черенковского терагерцевого излучения релятивистских электронов, ускоренных в хромосфере, исследовалась Г. Флейшманом и Э. Контарем (Fleishman & Kontar, 2010). В отличие от полностью ионизованной короны Солнца, в частично ионизованной хромосфере атомы и молекулы дают положительный вклад в диэлектрическую проницаемость среды $\epsilon(\nu) = 1 - \nu_p^2 / \nu^2 + \delta\epsilon_{am}$, которая из-за добавки $\delta\epsilon_{am}$ может быть больше единицы. Здесь $\nu_p^2 = e^2 n / \pi m_e$ – квадрат плазменной частоты электронов. Тогда скорость высокоэнергичных электронов может превысить фазовую скорость электромагнитных волн $V > c / \sqrt{\epsilon(\nu)}$, и черенковское излучение возможно. Заметим, что в упомянутых нетепловых моделях субтерагерцевого излучения наличие высокоэнергичных электронов в хромосфере постулировалось, но механизмы их ускорения не исследовались.

Возможность объяснения субтерагерцевого излучения на основе плазменного механизма обсуждалась японским астрофизиком Дж. Сакаи с коллегами (Sakai et al., 2006). Из условия выхода радиоизлучения из источника $\nu > \nu_p$ можно оценить необходимую плот-



Основание токонесущей магнитной петли. Источник суб-ТГц излучения обозначен серым цветом. Расположенная выше источника область поглощения заштрихована. Вторгающаяся в области «плохой» кривизны внешняя плазма возмущает магнитное поле петли и электрический ток, текущий в петле. Изображение из статьи Zaitsev et al. 2014

ность электронов в источнике излучения. Для частот 200 и 400 ГГц плотность электронов должна быть $n = 5 \cdot 10^{14} \text{ см}^{-3}$ и $2 \cdot 10^{15} \text{ см}^{-3}$ соответственно. Такие значения трудно ожидать в короне Солнца. Им соответствуют более глубокие слои солнечной атмосферы, а именно, хромосфера, которую нужно нагреть до температуры почти полной ионизации плазмы ($T \geq 10^5 \text{ K}$), чтобы обеспечить «просветление» хромосферы и выход субтерагерцевого излучения из источника. Если за генерацию ленгмюровских волн ответственны пучки ускоренных электронов с энергиями в сотни кэВ, то порог неустойчивости по плотности энергичных частиц, определяемый соударениями электронов с ионами, довольно низкий $n_1/n > 10^{-5} - 10^{-6}$. При этом ускоритель электронов должен располагаться в хромосфере, где плотность плазмы достаточно высокая.

В. Зайцев и А. Степанов в работе 2015 г. показали, что наиболее эффективное ускорение электронов происходит в индукционных электрических полях, которые возникают при вторжении «желобка» частично ионизованной плазмы в основание токонесущей вспышечной петли. Такое вторжение вызвано магнитной неустойчивостью Рэлея–Тейлора. Неустойчивость деформирует магнитное поле в основании магнитной арки, в результате меняется текущий вдоль арки электрический ток и генерируется индукционное электрическое поле, приводящее к ускорению частиц. Ускоряющее электрическое поле может достичь значения поля Драйзера, при котором все электроны плазмы находятся в режиме убегания. Поскольку плотность хромосферы достаточно высока, ускоренные электроны с энергиями 200–500 кэВ тормозятся из-за соударений на дистанции $\sim 3 \cdot 10^7 - 10^8$ см, обеспечивая нагрев этой области хромосферы до температуры $T \approx 10^6 - 10^7$ К.

Кроме нагрева плазмы хромосферы, ускоренные электроны, как указывалось ранее, возбуждают плазменные волны. Рэлеевское и комбинационное (рамановское) рассеяние плазменных волн проводит к генерации электромагнитного излучения с частотами вблизи ν_p и $2\nu_p$. На пути излучения находится слой плазмы с падающей на характерном масштабе 100–150 км плотностью, прогретый до температуры $10^6 - 10^7$ К. Оценки показывают, что оптические толщины такого слоя относительно free-free процесса поглощения на частотах 200 и 400 ГГц незначительные. Это означает, что для выхода суб-ТГц излучения из хромосферы достаточно, чтобы трансформация плазменных волн в электромагнитные происходила на спонтанном уровне, без эффектов индуцированно-

го рассеяния. В этом случае поток излучения с частотой $2\nu_p$ преобладает по сравнению с потоком излучения с частотой ν_p , т. е. плазменный механизм объясняет положительный наклон спектра суб-ТГц излучения солнечных вспышек. «Просветление» вышележащего над источником слоя хромосферы вызвано испарением прогретой плазмы в источнике излучения. В ней аккумулируется тепловая энергия, которая поддерживается в течение времени развития неустойчивости Рэлея–Тейлора (минуты). Нагретая плазма из источника суб-ТГц излучения испаряется в верхнюю хромосферу со скоростью звука $c_s \approx 3 \cdot 10^7$ см/с и нагревает ее за счет столкновений за время ≤ 10 с, что значительно меньше длительности всплеска суб-ТГц излучения, которое порядка 10 минут.

ПУЛЬСАЦИИ

Кривые блеска субтерагерцевого излучения солнечных вспышек обнаруживают пульсации с весьма интересными свойствами (Kaufmann et al., 2009). Так, в событиях 2 и 4 ноября 2003 г. и 6 декабря 2006 г. период пульсаций менялся от 0.2 до 3–4 с, причем изменение частоты пульсаций со временем повторяло временной ход профиля потока излучения. Типичная глубина модуляции пульсаций суб-ТГц излучения 5–8%. Важной особенностью пульсаций является их большая добротность ($Q > 10^3$), а также синфазность на разных частотах. Модель пульсаций, следовательно, должна объяснять значения периодов пульсаций, их добротность и синфазность пульсаций на разных частотах.

Шведские астрофизики Альфвен и Карлквист в 1967 г. предложили рассматривать вспышечную петлю в виде

эквивалентного электрического контура с индуктивностью L , емкостью C , сопротивлением R . Основой для этой модели явились наблюдения А.Б. Северного в Крымской астрофизической обсерватории, обнаружившего значительные электрические токи, $\sim 10^{11}$ А, в окрестности солнечных пятен. Модель вспышки Альфвена–Карлqvиста впоследствии была развита в работах В.В. Зайцева и А.В. Степанова. Электродвижущая сила в таком контуре определяется параметрами fotosферной конвекции в основании петли. В модели магнитной вспышечной петли как RLC -контура можно написать уравнение для отклонений величины тока $|\tilde{I}| \ll I_0$, текущего в петле, от стационарного значения I_0 . Таким способом удалось объяснить малую амплитуду высокочастотных пульсаций субтерагерцевого излучения вспышек и их период, наблюдавшийся в интервале от 0.2 до 8 с, который определяется известной формулой $\nu_{RLC} = (2\pi)^{-1}[LC(I)]^{-1/2} \propto I$. Здесь емкость $C(I) = \pi c^4 \rho S^2 / l^2$ обратно пропорциональна квадрату тока и зависит от плотности петли ρ , ее длины l и площади поперечного сечения S . С помощью закона Био–Савара выражение для емкости преобразуется к привычному виду:

$$C = \epsilon S / l, \quad \epsilon = c^2 / V_A^2,$$

где V_A – скорость Альфвена. Высокая добротность пульсаций $Q = R^{-1}(LC)^{1/2} \geq 10^3$ обусловлена малым сопротивлением и громадными размерами вспышечных петель, $\sim 10^4$ – 10^5 км.

При развитии в основаниях магнитной петли неустойчивости Рэлея–Тейлора индукционное электрическое поле, ускоряющее электроны, пропорционально величине электрического тока (Zaitsev et al. Solar Phys. 2014). Поэтому поток излучения тем выше, чем

больше величина тока. С другой стороны, частота собственных колебаний вспышечной петли – эквивалентного электрического контура, пропорциональна электрическому току $\nu_{RLC} \propto I$. Поэтому частота пульсаций возрастает с ростом потока суб-ТГц излучения, а временной ход частоты пульсаций повторяет временной ход потока излучения. Таким образом, на основании модели вспышечной петли – эквивалентного RLC -контура, можно понять и необычное подобие временных профилей потоков суб-ТГц излучения и частоты пульсаций.

Синфазность пульсаций на различных частотах предполагает синфазность колебаний электрического тока во всех точках вспышечной петли как сосредоточенного RLC -контура. Вариации тока распространяются в петле с альфвеновской скоростью. Поэтому для синфазности пульсаций необходимо, чтобы время распространения возмущения вдоль петли со скоростью Альфвена l/V_A было меньше периода колебаний ν_{RLC}^{-1} . Условие синфазности выполняется для сравнительно компактных магнитных петель, с $l < 10^{10}$ см. Отсутствие заметно выраженной периодичности пульсаций связано с тем, что источником суб-ТГц излучения является, как правило, система петель с различными L и C .

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Рассмотренные механизмы излучения не объясняют всего многообразия суб-ТГц и ТГц излучения Солнца. Тем не менее представленные модели источников суб-ТГц и терагерцевого излучения на основе тепловых и нетепловых механизмов излучения в значительной мере соответствуют концепции хромосферной вспышки. Ее возрождению (*déjà vu*) способствуют

не только наблюдения терагерцевого излучения Солнца, но и наблюдения на современных оптических солнечных телескопах (New Solar Telescope BBSO, DKIST с главным зеркалом диаметром 4.24 м). Наблюдения в оптике, на космических обсерваториях и в новом терагерцевом «окне» должны приблизить нас к разгадке активности Солнца.

Солнце – звезда класса G, является одной из активных звезд на диаграмме Гершпрунга–Рассела. В исследовании природы активности звезд различных спектральных классов широко привлекаются солнечно-звездные аналогии, особенно в случае солнцеподобных звезд класса $M < 7$ (красных карликов), среди которых наиболее активны вспыхивающие звезды AD Leo, UV Cet, YZ CMi, EV Lac. Поэтому изучение ТГц-излучения вспышек на звездах, энергия которых на 2–4 порядка ($\geq 10^{34}$ эрг) превышает энергию солнечных вспышек, будет способствовать не только пониманию природы звездных вспышек, но и оценке вероятности супервспышек на Солнце. Интерес к супервспышкам на Солнце возрос в связи с обнаружением космическим телескопом Kepler супервспышек на солнцеподобных звездах. Важно также выяснить спектр излучения в суб-ТГц и ТГц областях при вспышках ультрахолодных звезд, радионаблюдения которых в настоящее время ограничены диапазоном 2–12 ГГц. Несмотря на малые размеры ультрахолодных звезд (порядка Юпитера) и холодные фотосферы, такие звезды генерируют неожиданно интенсивное радиоизлучение, сравнимое с излучением активных красных карликов. Другим необычным свойством ультрахолодных звезд, среди которых наиболее активны коричневые карлики, является их относительно слабая рентгеновская светимость. Отношение светимостей в радио- и рент-

геновском диапазонах у коричневых карликов приблизительно на четыре порядка больше, чем у звезд спектральных классов от F до $M < 7$. Например, у Солнца и красных карликов в среднем $L_X / L_R \approx 10^{15.5}$ Гц, а у коричневых карликов $L_X / L_R \approx 10^{11-12}$ Гц. Исследование ТГц излучения ультрахолодных звезд должно пролить свет на необычную активность их магнитосфер.

Сейчас астрофизики рассматривают радиозвезды как маяки для изучения экзопланет. Наблюдения радиосигналов космических аппаратов по мере их прохождения вблизи тел солнечной системы используются для изучения атмосфер и магнитосфер планет. Уизерс из Бостонского университета (Withers & Vogt 2017, ApJ, 836, 114) предложил распространить эту технику на экзопланеты, т. е. радиоизлучение звезды, проходящей через атмосферу экзопланеты, может быть использовано для диагностики параметров атмосферы экзопланеты – плотности плазмы, магнитного поля. В этой связи наблюдения в терагерцевом диапазоне трудно переоценить.

В заключение добавим, что терагерцевые наблюдения Солнца на стратосферных баллонах Пьер Кауфман характеризовал словом Space. Следующий шаг – наблюдения Солнца в диапазоне ТГц на космических аппаратах, которые открывают возможность полного избавления наблюдений от негативного влияния атмосферы Земли. В Физическом институте им. П.Н. Лебедева Российской академии наук разработан проект космического эксперимента на МКС «СОЛНЦЕ-ТЕРАГЕРЦ» для наблюдений нашего светила в интервале 0.4–10 ТГц, разделенном на восемь частотных каналов. Это позволит получить детальные спектры излучения активного Солнца в терагерцевом диапазоне. Эксперимент планируется реализовать в ближайшие три года.

ВЕЛИКИЙ МАРСИАНСКИЙ ДЕСАНТ 2020 ГОДА

ЛИСОВ Игорь Анатольевич

DOI: 10.7868/50044394820050035

В июле 2020 года с Земли к Марсу стартовали сразу три экспедиции, две из которых имеют целью доставку марсоходов на Красную планету. Участниками межпланетного «забега» стали Объединенные Арабские Эмираты, Китай и США.

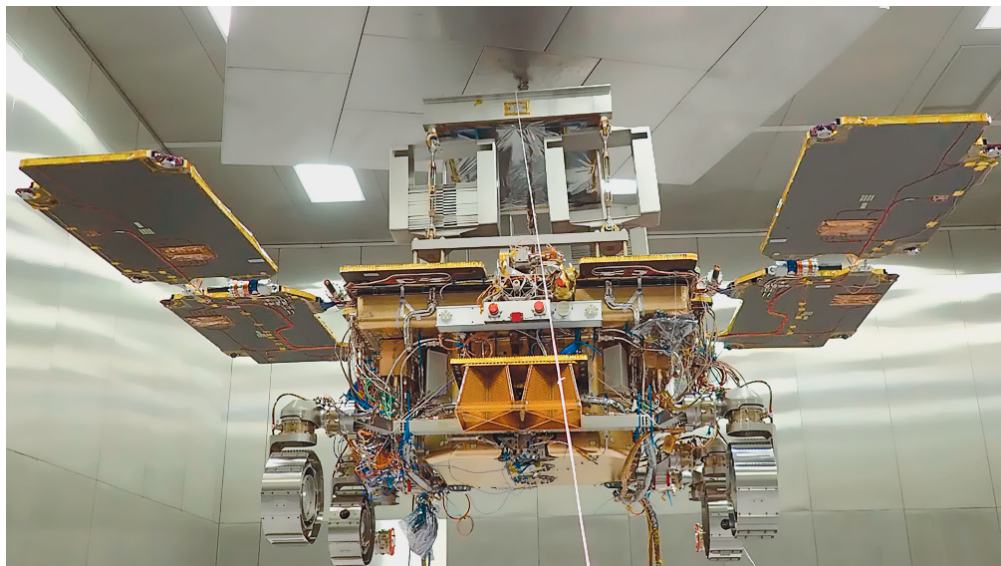
ОТСРОЧКА EXOMARS 2020

Первоначально на астрономическое окно 2020 года нацеливался и четвертый участник. С Байконура на ракете «Протон-М» с разгонным блоком «Бриз-М» должен был стартовать посадочный комплекс совместной разработки России и Европейского космического агентства с европейским марсоходом для поиска следов прошлой жизни в марсианском грунте. Марсо-

ход *Rosalind Franklin* был оснащен буровой установкой и комплексом аналитических инструментов, включая анализатор органических молекул Marса MOMA (Mars Organic Molecule Analyzer), созданный в Институте исследований Солнечной системы Общества Макса Планка (ФРГ) при участии американских и французских научных учреждений.

Однако разработка посадочного аппарата столкнулась с проблемами, наиболее серьезными из которых стали

Марсоход «Розалинд Франклин» российской-европейской миссии «ЭкзоМарс-2020» на испытаниях. Фотография: Airbus



отказы европейской парашютной системы при наземных испытаниях. Так, при сбросе с аэростата 28 мая 2019 г. на полигоне Кируна в Швеции были отмечены радиальные разрывы 35-метрового основного купола, а во втором тесте 5 августа 2019 г. из-за повреждения основного купола макет спустился на одном вытяжном парашюте. На доработки и новые испытания оставалось очень немного времени, а в условиях начинающейся пандемии коронавируса любые совместные работы могли непредсказуемо затянуться. В результате 12 марта 2020 года ЕКА и ГК «Роскосмос» объявили решение о переносе второго старта программы ЕхoMars на следующее астрономическое окно в августе–октябре 2022 г.

Это вынужденное решение – уже второе в истории европейско-российского проекта¹: ранее второй старт по программе ЕхoMars был перенесен с 2018 на 2020 год. Хочется надеяться, что космические агентства России и Европы найдут дополнительные средства на реализацию проекта в течение двух незапланированных лет, а спутник-ретранслятор TGO, отправленный к Марсу в первом пуске в марте 2016 года, дождет своего напарника и обеспечит его работу на поверхности Красной планеты.

«АЛЬ-АМАЛЬ» – НОВАЯ «НАДЕЖДА»

19 июля 2020 г. в 21:58 UTC со стартового комплекса Космического центра Танэгасима стартовал японский носитель Н-ПА (202), несущий самый экзотический среди марсианских зондов 2020 года – эмиратский аппарат «Аль-Амаль», что означает «Надежда». За-

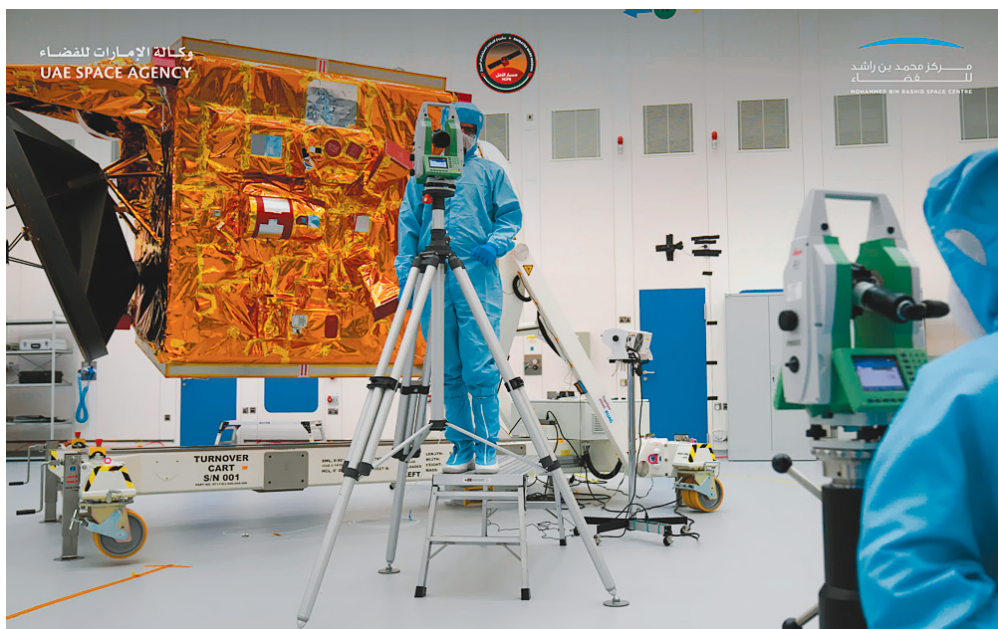
дача его намного проще, чем у двух других проектов – достичь Марса в феврале 2021 г. и выйти на орбиту вокруг него. Научное предназначение аппарата – изучение климата Марса, политическое – «демонстрация флага». «Аль-Амаль» является первым аппаратом стран арабского мира, отправленным в межпланетное путешествие, и, если полет пройдет успешно, ОАЭ наглядно продемонстрирует свое лидерство в «арабской космонавтике», а заодно и отметит 50-летие образования страны.

Проект «Аль-Амаль» объявил в июле 2014 г. эмир Абу-Даби и президент ОАЭ шейх Халифа бин-Зайед аль-Нахьян. Разработку финансировало Космическое агентство ОАЭ, а вел ее Космический центр имени Мохаммеда бин-Рашида. До сих пор фактически там был создан и в октябре 2018 г. запущен всего один спутник для съемки Земли «Халифасат» массой 300 кг, и то на базе южнокорейского проекта. На этом скромном фоне полуторатонный «Аль-Амаль» выглядел поистине гигантским скачком вперед.

Следует отметить, что вместе со 150 инженерами и учеными ОАЭ во главе с руководителем проекта Омраном Шарафом над ним работали около 200 американских инженеров и ученых. Более того, завершающий этап сборки был выполнен в Лаборатории атмосферной и космической физики (LASP) Университета Колорадо. Климатические испытания аппарата также проводились в США в период с июня по декабрь 2019 г. Завершающая серия критически важных тестов прошла в Дубае, в Центре бин-Рашида.

20 апреля 2020 г. зонд привезли в международный аэропорт Аль-Мактум, откуда начался долгий 83-часовой перелет в Нагою на Ан-124 российской компании «Волга–Днепр». Оттуда контейнер с космическим аппаратом (КА) доставили по морю в Танэгасиму,

¹ О первой части проекта «ЭкзоМарс» см. ЗиВ. 2016. №3.



Космический аппарат «Аль-Амаль» перед запуском. Фото Космического центра имени Мохаммеда бин-Рашида, сайт <http://www.emiratesmarsmission.ae>

и 24 апреля аппарат был принят на предстартовую подготовку. Старт состоялся с задержкой на пять суток по метеоусловиям.

Марсианский зонд выполнен в виде шестиугольной призмы диаметром 2.37 м и высотой 2.90 м. Три панели солнечных батарей дают 600 Вт мощности для системы электропитания. Звездный датчик является основным измерительным средством в системе ориентации, а четыре маховика – ее исполнительными органами. Кроме того, аппарат имеет восемь ЖРД ориентации тягой по 5 Н для разгрузки маховиков и шесть двигателей направленного перемещения тягой по 120 Н. Все они работают на однокомпонентном топливе – гидразине, запас которого составляет 800 кг. Радиокомплекс Лаборатории прикладной физики Университета Джонса Хопкинса (США) с остронаправленной антенной диаметром 1.5 м обеспечивает «общение»

с Землей в X-диапазоне со скоростью от 1600 до 250 кбит/с, в зависимости от текущего расстояния между двумя планетами.

Научная аппаратура «Аль-Амаль» состоит из трех инструментов, созданных в университетах США при участии эмиратских специалистов из Центра бин-Рашида:

- Камера EXI (Emirates eXploration Imager) – автономная двухканальная цифровая камера для спектральной съемки с пространственным разрешением 5 км в кадре размером 4096×3072 элемента и с 12-битной оцифровкой. Инструмент имеет шесть узкополосных фильтров: три в видимом диапазоне (405–469, 506–586 и 625–645 нм) и три в ультрафиолетовом (205–234, 245–275 и 305–335 нм). Данные EXI позволяют измерить свойства льда, воды, пыли и озона в атмосфере Марса. Инструмент также будет использоваться для цветной съемки планеты;

• Инфракрасный спектрометр EMIRS (Emirates Mars InfaRed Spectrometer) для теплового картирования Марса и поиска водных и ледяных облаков и пыли в атмосфере планеты для изучения ее теплового режима и круговорота воды на Марсе. Прибор представляет собой Фурье-спектрометр на диапазон 6–40 мкм при спектральном разрешении 5 и 10 см⁻¹ и пространственном разрешении 300 км. Инструмент будет выполнять до 60 измерений в неделю;

• Ультрафиолетовый спектрометр EMUS (Emirates Mars Ultraviolet Spectrometer) на диапазон 100–170 нм для регистрации уходящих от Марса ионов кислорода и водорода. Пространственное разрешение инструмента составляет 300 км, спектральное в трех каналах – 1.3, 1.8 и 5.0 нм.

Камеру EXI разработали в LASP при участии Университета Калифорнии в Беркли, спектрометр EMUS – в LASP, а инструмент EMIRS – в Университете штата Аризона. Для управления полетом привлекаются американские командно-телеметрические средства. Центр научных данных и основной центр управления размещен в Центре бин-Рашида, резервный – в Боулдере (США). В общем, еще вопрос, следует ли считать «Аль-Амаль» эмиратским проектом или американским...

После примерно 200 суток полета КА сблизится с Марсом и выполнит в течение 30 минут торможение с целью выйти на орбиту наклонением 25° и высотой 22 000 км в перигентре и 44 000 км в апоцентре с периодом обращения 55 ч. Рабочая орбита планиру-

ется высотой 1000 × 49 380 км с 40-часовым периодом. Зонд должен проработать два года с возможностью продления еще на два.

«ТЯНЬВЭНЬ-1» – ИМПЕРИЯ ЗАДАЕТ ВОПРОСЫ

23 июля 2020 г. в 04:41 UTC с космодрома Вэньчан на острове Хайнань стартовала китайская ракета «Чанчжэн-5» (CZ-5 №Y4) с первым китайским марсианским комплексом «Тяньвэнь-1» (天问一号), который включает в себя орбитальный аппарат и десантный модуль с посадочным аппаратом и марсоходом. Этот пятитонный зонд – самый сложный и тяжелый среди всех планировавшихся в астрономическое окно 2020 года. И оставшийся пока на Земле ЕхоMars 2020, и стартовавший тре-

тьим американский аппарат проще и дешевле: в их составе нет орбитального аппарата, а лишь перелетный модуль для прямой доставки десантного модуля в атмосферу Марса. Больше того: до сих пор никто в мире не пытался отправить на Марс сразу все три компонента: орбитер, лэндер и ровер.

Первым китайским КА для исследования Огненной планеты (так буквально переводится ее китайское название «Хосин») должен был стать спутник «Инхо-1» массой 110 кг, созданный специалистами Шанхайской исследовательской академии космической техники SAST

под руководством главного конструктора Хоу Цзяньвэня. 8 ноября 2011 г. он был запущен в составе российского

23 июля 2020 г. в 04:41 UTC с космодрома Вэньчан на острове Хайнань стартовала китайская ракета «Чанчжэн-5» (CZ-5 №Y4) с первым китайским марсианским комплексом «Тяньвэнь-1» (天问一号), который включает в себя орбитальный аппарат и десантный модуль с посадочным аппаратом и марсоходом. Этот пятитонный зонд – самый сложный и тяжелый среди всех планировавшихся в астрономическое окно 2020 года

комплекса «Фобос-Грунт», однако последний вышел из строя еще на околоземной орбите и не смог отправиться к Марсу.

До этой аварии китайская перспективная программа изучения Марса строилась по тем же «лекалам», что и лунная: сначала большой орбитальный аппарат (его планировалось запустить в 2016 г.), затем посадочный комплекс с марсоходом и в третью очередь – доставка грунта с планеты. После гибели «Инхо-1» она была пе-

ресмотрена, и в июне 2014 г. академик Оуян Цзыюань объявил, что уже в первом полете будут решаться задачи двух этапов – выход на орбиту вокруг Марса и доставка ровера на планету.

Уже в ноябре 2014 г. на Авиакосмическом салоне в Чжухае были продемонстрированы элементы перспективного марсианского проекта – макеты ровера, посадочного устройства и орбитального аппарата для старта «примерно в 2020 году». Тем не менее лишь 11 января 2016 г. Госсовет КНР утвердил к реализации первый чисто китайский проект изучения Красной планеты. Об этом официально объявил директор Китайской национальной космической администрации Сюй Дачжэ на пресс-конференции 22 апреля 2016 г., в преддверии Дня космонавтики КНР – годовщины запуска первого спутника «Дунфанхун-1» в апреле 1970 г.

Проектная конфигурация марсианского зонда была впервые представлена в августе 2016 г. Комплекс суммарной массой около 5000 кг включал орбитальный аппарат начальной массой 3175 кг и десантный модуль. Работу над орбитальным аппаратом в SAST начинали под руководством Хоу Цзяньвэня, а довела ее до старта Чжан Юйхуа. За десантный модуль и марсоход и за

Марсианский комплекс был изготовлен в срок, невзирая на различные обстоятельства, в том числе и отнюдь не технического свойства, и прошел полный объем наземной отработки

комплекс в целом отвечала Пекинская исследовательская академия космической техники CAST. Общее руководство проектом осуществляли главный конструктор миссии Чжан Жунцяо, административный руководитель Хэ Жунвэй и главный конструктор Сунь Цзэчжоу.

Марсианский комплекс был изготовлен в срок, невзирая на различные обстоятельства, в том числе и отнюдь не технического свойства, и прошел полный объем наземной отработки. В частности,

состоялись всесторонние испытания парашютной системы в серии высотных пусков в 2016–2018 гг. и два сброса посадочного аппарата на специальном стенде с имитацией марсианской гравитации, построенном всего за 15 месяцев в городе Чжанцзякоу уезда Хуайлай провинции Хэбэй, – зачетный 29 октября и демонстрационный 14 ноября 2019 г. В последнем тесте в присутствии приглашенных членов дипломатического корпуса и журналистов макет посадочного аппарата был отделен на высоте 70 м, завис на отметке 67 м и выполнил в режиме уклонения от препятствий спуск на двигателе до 20-метровой высоты.

А вот старт в июле 2020 г. долгое время находился под вопросом из-за неготовности ракеты. Как известно, первый пуск носителя CZ-5 в ноябре 2016 г. был успешным, а вот второй в июле 2017 г. окончился аварией. Поиск и устранение ее причин заняли два с половиной года, и третий пуск провели лишь 27 декабря 2019 г. Успех этого старта, а затем и штатный полет похожей ракеты CZ-5B в мае 2020 г. открыли путь к марсианской миссии.

К этому времени китайский марсианский аппарат обрел собственное имя «Тяньвэнь-1» вместо прежнего услов-

ного обозначения «Хосин-1» («Марс-1»). Оно было вторым по итогам всекитайского конкурса названий, итоги которого подвели еще в январе 2017 г., но присвоение имени состоялось лишь 24 апреля 2020 г. Слово «Тяньвэнь» (буквально «Вопросы к небу») является отсылкой к одноименной поэме Цюй Юаня, написанной в III веке до н.э. Оно стало одновременно и названием всей программы исследования планет китайскими аппаратами, и именем первого марсианского комплекса. Занятно, что теми же иероглифами, но в обратном порядке («Вэньтянь»), назван один из исследовательских модулей будущей китайской пилотируемой станции.

Элементы комплекса доставили на космодром 10 апреля 2020 г. Ступени ракеты CZ-5 №Y4 были отправлены 16 мая из порта Тяньцзинь на специализированных судах «Юаньван-21» и «Юаньван-22». 21 мая они прибыли в порт Вэньчан, где контейнеры выгрузили и 24 мая доставили в монтажно-испытательный корпус космодрома Вэньчан. Полностью готовый носитель вывели на старт 17 июля.

Старт прошел штатно, и «Тяньвэнь-1» вышел на траекторию перелета к Марсу. В пути запланированы четыре коррекции траектории и один большой маневр 5 октября с использованием маршевого двигателя орбитального аппарата тягой 3000 Н, заимствованного со взлетной ступени лунной станции «Чанъэ-5». 11 февраля китайский аппарат вновь включит его для торможения и выхода на начальную орбиту спутника Марса с перицентром на высоте 400 км и апоцентром 180 000 км, которая затем будет скорректирована до $265 \times 57\,800$ км с периодом обращения 49.3 ч – вдвое марсианских суток.

Посадка планируется в мае 2021 г. Весь комплекс выполнит торможение и перейдет на траекторию попадания в «коридор входа» в атмосферу планеты. Спустя два часа отделится десантный модуль массой 1745 кг, после чего орбитальный модуль выполнит маневр для возвращения на устойчивую орбиту. (Такая последовательность уже была отработана Китаем при десантировании на Землю возвращаемого аппарата экспериментальной станции CE5-T1.)

Десантный модуль войдет в атмосферу Марса со скоростью 4800 м/с. Управляемый спуск займет 290 секунд, в течение которых модуль будет тормозиться лобовым экраном диаметром 3.4 м, а для управления будет использоваться небольшой аэродинамический щиток. Когда движение замедлится до 460 м/с, лобовой экран будет отстрелен и введется парашют диаметром 16 м, который за 90 с снизит скорость до 95 м/с. Третий этап спуска будет выполняться с высоты около 2 км на регулируемой тяге посадочного двигателя YF-36 (от «Чанъэ-3», максимально 7500 Н) и закончится через 80 секунд зависанием на высоте около 100 м над поверхностью Марса. Бортовая система оценки рельефа и уклонения от препятствий выявит безопасное место, и посадочная платформа, используя двигатели бокового смещения тягой 250 и 25 Н, завершит спуск и выполнит посадку на четыре опоры с вертикальной скоростью не более 3.6 м/с.

С учетом сложности рельефа, освещенности, температуры и ряда оперативных факторов Китай первоначально выбрал для посадки на Марс полосу между 5° и 39° с.ш., а в ее пределах – две основные зоны: первую на равнине Хриса, в относительной близости

Посадка планируется в мае 2021 г. Весь комплекс выполнит торможение и перейдет на траекторию попадания в «коридор входа» в атмосферу планеты

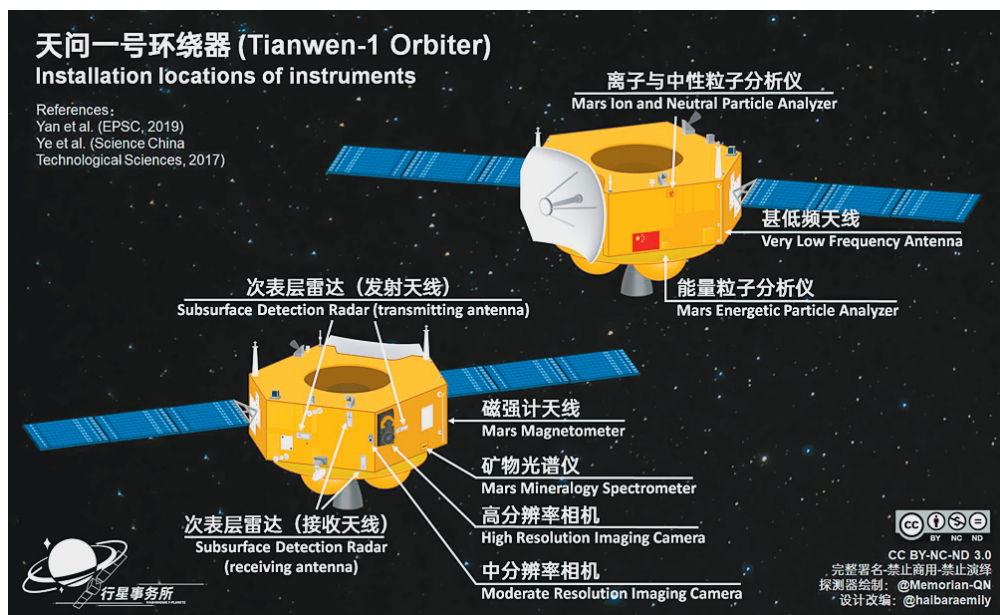
сти от мест посадки американских КА *Viking 1* и *Mars Pathfinder*, и вторую на равнине Утопия, от бассейна Изиды до западных склонов горы Элизий, между районами работы ровера *Curiosity* и посадочного аппарата *Viking 2*. В сентябре 2019 г. китайские специалисты сообщили о предварительном выборе второй зоны и в ней двух точек с посадочными эллипсами размером 40×100 км. Пока посадка планируется в первую из них, в южной части Утопии, на отложениях позднего гесперийского периода, с координатами 110.318° в.д., 24.748° с.ш. Вторая находится в юго-восточной части Утопии, у выхода на равнину лавового потока с горы Элизий. Окончательное решение, по-видимому, будет принято уже после прибытия к Марсу.

Через восемь суток после посадки с посадочного аппарата по двум направляющим сойдет на грунт безымянный пока китайский марсоход мас-

сой 240 кг и габаритными размерами $2.0 \times 1.65 \times 0.8$ м. Он выполнен в виде шестиугольной платформы на типовом шестиколесном шасси и запитывается от четырех солнечных батарей, две из которых неподвижны, а две ориентируются на Солнце и могут за счет наклона сбрасывать накопившуюся пыль. Ровер способен проходить до 200 м/ч и преодолевать уклоны в 30° . Расчетный срок его работы – три месяца, но, разумеется, китайские специалисты надеются на большее.

Орбитальный аппарат, выполненный в виде шестиугольной призмы с двумя «крыльями» солнечных батарей и маршевым двигателем по продольной оси, будет после сброса обращаться по полярной орбите высотой $265 \times 12\,000$ км с периодом обращения около 8 ч, осуществляя съемку и зондирование поверхности Марса, изучение околопланетной среды и ретрансляцию данных с марсохода.

Расположение научных приборов на орбитальном аппарате КА «Тяньвэнь-1». Изображение @Memorian-QN and @haibaraemily via Twitter, сайм <https://www.planetary.org/space-images/tianwen-1-orbiter-instrument-locations>



天问一号火星车 (Tianwen-1 Rover)

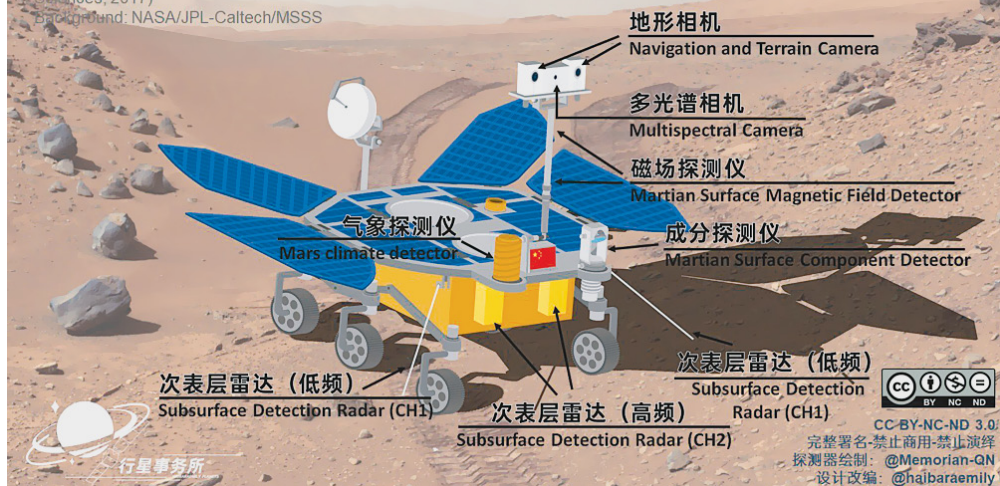
Installation locations of instruments

Reference:

Yan et al. (EPSC, 2019)

Ye et al. (Science China Technological Sciences, 2017)

Background: NASA/JPL-Caltech/MSSS



Расположение научных приборов на марсоходе КА «Тяньвэнь-1». Изображение @Memorian-QN and @haibaraemily via Twitter, с айм <https://www.planetary.org/space-images/tianwen-1-rover-instrument-locations>

Научная программа экспедиции «Тяньвэнь-1» была сформирована и подготовлена Китайской академией наук под руководством академика Вань Вэйсина. К сожалению, научный руководитель проекта не дожил до старта – он умер 20 мая 2020 г. после тяжелой болезни на 62-м году жизни.

Основные задачи проекта «Тяньвэнь-1» состоят в глобальном и подробном обследовании всей планеты с орбитального аппарата и в детальном изучении одной области научного интереса с высокой точностью и разрешением. Если говорить более конкретно, предстоит картировать морфологию и геологическую структуру планеты; изучить характеристики поверхностного слоя и распределение водяного льда в нем; проанализировать состав материала поверхности; измерить параметры ионосферы планеты и получить ин-

формацию о климате Марса и о состоянии среды на поверхности; получить данные о физических полях (электромагнитном, гравитационном) и о внутренней структуре Марса.

Состав полезной нагрузки для проведения этого комплекса исследований был объявлен в сентябре 2017 г. и включает 13 инструментов: семь на орбитальном аппарате и шесть на ровере. В отличие от лунного проекта КНР, посадочная ступень выполняет лишь функцию доставки марсохода и не имеет научной аппаратуры.

На орбитальном аппарате размещены:

- Мультиспектральная камера MRC (Mars High-resolution Camera), разработанная в Чанчуньском институте оптики, точной механики и физики. Имея пространственное разрешение до 0.5 м в панхроматическом и до 2.0 м в мультиспектральном диапазоне в полосе

шириной 9 км при съемке с высоты 260 км, она сопоставима по характеристикам с американской HiRISE на спутнике MRO (NASA);

- Цветная камера умеренного разрешения MRC (Medium Resolution Camera) для обзорной съемки с пространственным разрешением порядка 100 м в кадре размером 4096×3072 элементов;

- Радиолокатор для зондирования подповерхностной структуры и поиска льда MOSER (Mars-Orbiting Subsurface Exploration Radar) с двумя рабочими диапазонами (10–20 и 30–50 МГц) и двумя поляризациями, используемый также как радиовысотомер;

- Минералогический спектрометр MMS (Mars Mineralogy Spectrometer) с рабочими диапазонами 0.45–1.05 и 1.00–3.40 мкм для определения элементного состава поверхности и изучения ресурсов Марса;

- Трехкомпонентный магнитометр MM (Mars Magnetometer) с диапазоном ± 2000 нТ и высоким разрешением (0.01 нТ);

- Анализатор ионов и нейтральной плазмы MINPA (Mars Ion and Neutral Particle Analyzer) для регистрации потока ионов (состав, плотность, скорость, температура) и нейтральных частиц с выявлением среди них атомов H, He и O;

- Анализатор энергичных частиц MEPA (Mars Energetic Particle Analyzer) для регистрации потоков и получения энергетических спектров электронов, протонов, альфа-частиц и тяжелых ионов до Fe включительно.

Марсоход несет навигационную стереокамеру и шесть приборов:

- Топографическая камера TC (Terrain Camera) для построения трехмерных моделей поверхности;

- Мультиспектральная камера MSC (Multispectral Camera) видимого и ближнего ИК-диапазона с кадром 2048×2048 элементов и 9 цветными фильтрами для изучения морфологии

и распределения различных материалов;

- Подповерхностный радар MRSER (Mars-Rover Subsurface Exploration Radar) с каналами 55 МГц и 1300 МГц и предельной рабочей глубиной 100 м для льда и 10 м для грунта;

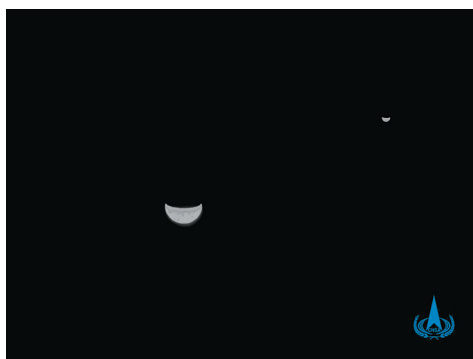
- Лазерный спектрометр для дистанционного определения элементного состава и идентификации поверхностных пород MSCD (Mars Surface Composition Detector), аналогичный приборам ChemCam на марсоходе *Curiosity* и SuperCam на *Perseverance* (NASA);

- Трехкомпонентный магнитометр MMFD (Mars Magnetic Field Detector), аналогичный прибору на орбитальном аппарате;

- Метеокомплекс MMM (Mars Meteorology Monitor) для измерения температуры, давления, скорости и направления ветра и записи звуков.

Для управления полетом будут использованы китайские станции дальней космической связи, построенные вблизи городов Цзямусы и Каши и в Аргентине, в провинции Неукен. Первая имеет антенну диаметром 66 м, вторая и третья изначально были оснащены 35-метровыми антеннами, но сейчас в Каши имеются уже три такие антенны с объединенной апертурой. Совсем скоро в систему должна войти новая, 70-метровая антенна, которая строится в районе Уцин вблизи Тяньцзиня по проекту GRAS-4 Национальной астрономической обсерватории Китая. Она позволит принимать сигналы с марсохода напрямую, без ретрансляции через орбитальный аппарат.

Руководители китайского проекта не скрывают, что и он приурочен к юбилею – 100-летию Коммунистической партии Китая, которое будет отмечаться 1 июля 2021 г. Безусловно, первая для Китая экспедиция к Марсу по столь сложной схеме представляет немалый технический риск, особенно



Фотография Земли и Луны, полученная КА «Тяньвэнь-1» с расстояния примерно 1.2 млн км от Земли. Изображение <http://www.cnsa.gov.cn>

если учесть короткий срок реализации. Однако Китай уже имеет собственные средства и опыт управления аппаратами «лунной» серии в дальнем космосе, он дважды осуществил мягкую посадку на Луну, а луноход «Юйту-2» работает на ее обратной стороне уже полтора года. Поэтому есть основания полагать, что китайский десант на Марс будет успешным.

В случае успеха проекта «Тяньвэнь-1» ожидается утверждение следующего этапа программы, предусматривающего доставку на Землю грунта с Марса со стартом в 2028 г. Таким образом, Китай игнорирует все промежуточные и боковые направления исследований Марса, рассчитывая «разобраться» с этой планетой всего за две экспедиции.

PERSEVERANCE – ВОЗВРАЩЕНИЕ МАРСОХОДА

30 июля 2020 г. в 11:50 UTC с мыса Канаверал на ракете Atlas V (541) отправился в путь к Марсу американский комплекс с марсоходом *Perseverance*, что означает «Настойчивость». С технической точки зрения, экспедиция Mars 2020 является повторением проекта

2011 года, в рамках которого на Марс был высажен тяжелый ровер *Curiosity* («Любопытство»)², и ее можно считать наименее рискованной из трех миссий 2020 г., хотя и сложной в реализации. Есть, правда, и «изюминка»: вместе с ровером на Марс будет доставлен первый в его истории летательный аппарат – небольшой вертолет. Впрочем, он не нужен для решения задач миссии и будет работать в чисто экспериментальном режиме.

Комплекс *Mars 2020* массой 4147 кг включает перелетную ступень и десантный модуль большого диаметра (4.5 м) с марсоходом. Посадочного аппарата как такового нет – после аэродинамического торможения и парашютного этапа спуска ровер окажется подвешенным на тросах под своеобразным «воздушным краном». Эта платформа обеспечит зависание на двигателях и мягкий спуск груза на поверхность, а затем будет уведена в сторону и разобьется при падении. Все это уже проверено на практике при посадке *Curiosity* 6 августа 2012 г. По сравнению с первой попыткой введены средства относительной навигации на спуске и уклонения от препятствий, а у марсохода доработаны колеса, ободы которых слишком легко пробивали острые марсианские камни.

Основное различие состоит в целях экспедиции. Если на *Curiosity* возложили лишь изучение района посадки на предмет существования в прошлом благоприятных условий для биосферы, то новый марсоход займется непосредственным поиском признаков древней жизни – так называемых биосигнатур. Он оснащен буровым устройством для забора образцов наиболее интересных пород и грунта, которые будут упаковываться в небольшие капсулы и остав-

² Подробнее о миссии *Curiosity* см. ЗиВ. 2012. № 3.



Марсоход *Perseverance* и вертолет *Ingenuity* на Марсе в представлении художника.
Изображение NASA/JPL-Caltech

ляться по пути следования для доставки в будущем на Землю для детального изучения.

Американцы намерены решить эту задачу примерно в те же сроки, что и Китай. Соответствующий совместный проект NASA и ЕКА был в принципе согласован в апреле 2018 г. Экспедиция за образцами должна начаться в 2026 г. двумя стартами на американском и европейском носителях. В состав первого марсианского комплекса войдут: американская перелетная ступень, американский посадочный аппарат *Sample Retrieval Lander*, европейский марсоход *Sample Fetch Rover* и американская взлетная ракета *Mars Ascent Vehicle*. Носитель для этого пуска пока не определен, но старт предварительно намечен на июль 2026 г. Вторым пуском на *Ariane 64* через несколько месяцев пойдет европейский *Earth Return Orbiter* с американским возвращаемым аппаратом. Он будет использовать электроракетные двигатели как для выхода на орбиту вокруг Марса, так и для отлета к Земле.

Сценарий следующей миссии ясен уже из названий компонентов. В середине 2028 г. американский аппарат садится на Марс в районе работы ровера *Perseverance*. Небольшой четырехколесный марсоход *Sample Fetch Rover*, передвигаясь со скоростью в среднем 200 м в сутки, идет по следу предшественника, подбирая оставленные им капсулы. Пройдя до 15 км и собрав с помощью манипулятора 36 капсул с образцами, он возвращается к посадочному аппарату и перегружает образцы вместе с пятью контрольными капсулами в контейнер взлетной ракеты. Американский марсоход тоже может участвовать в подвозе образцов, если потребуется.

Двухступенчатая твердотопливная ракета массой 400 кг стартует с Марса, чтобы доставить контейнер диаметром около 40 см и массой 14–16 кг на орбиту вокруг планеты. Там его находит *Earth Return Orbiter*, подбирает и помещает в американскую систему биологической изоляции на случай наличия в образцах живых микроорганизмов. Далее

опасный груз закладывается в американский возвращаемый аппарат, способный пройти земную атмосферу и достичь ее поверхности, причем без использования парашюта. Возвращение на военный полигон в штате Юта планируется на 2031 г.

17 июня 2020 г. компания Airbus Defence and Space (подразделение в г. Стивенидж) получила от ЕКА контракт на разработку марсохода *Sample Fetch Rover*. В свою очередь, NASA сообщило в апреле о намерении заказать компании Northrop Grumman двигатели обеих ступеней для взлетной ракеты. Полномасштабная разработка остальных компонентов еще предстоит и потребует как минимум 2.5–3.0 млрд \$ из средств американского бюджета и сопоставимой суммы от ЕКА.

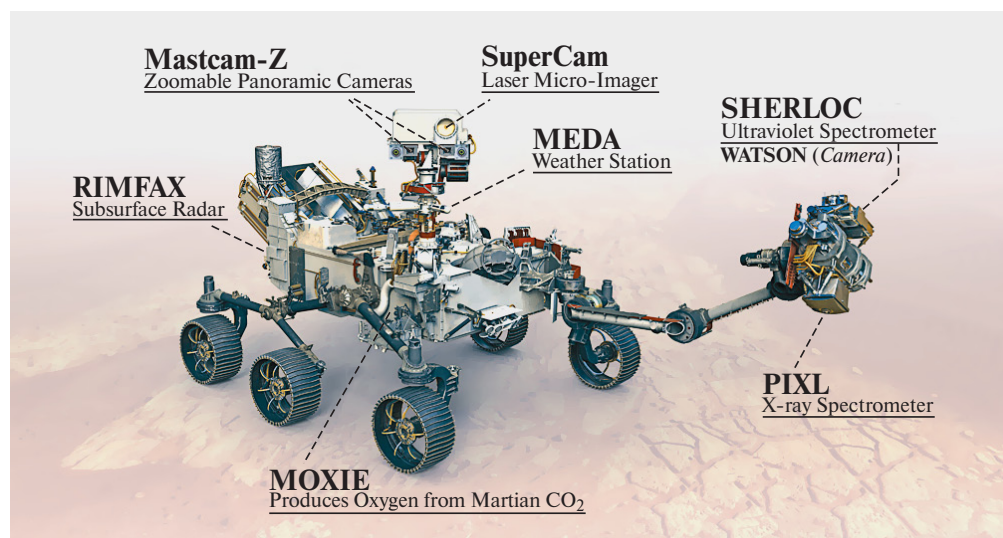
Помимо забора и сохранения образцов грунта, на *Perseverance* планируется поиск признаков прошлой жизни, изучение среды Марса на предмет ее опасности для астронавтов, поиск ценных ресурсов в форме воды в грунте и тестирование установки для добычи кислорода из атмосферы планеты.

Марсоход массой 1025 кг на шестиколесном шасси с мотор-колесами диаметром 51 см запитывается от радиоизотопного генератора с 4.8 кг двуокиси плутония с энерговыделением 110 Вт, что делает его независимым от времени года и освещенности и не чувствительным к пылевым бурям. «Железо» и программное обеспечение бортового компьютера прошли всесторонние испытания на *Curiosity*.

Научная аппаратура *Perseverance* включает следующие инструменты:

- Панорамная стереокамера с оптическим увеличением Mastcam-Z, предназначенная для фото- и видеосъемки поверхности и атмосферы Марса, для навигации и для определения минералогии марсианской поверхности. Прибор Университета штата Аризона состоит из двух камер с регулируемым фокусным расстоянием 28–100 мм, разнесенных на 242 мм, с размером кадра 1600 × 1200 пикселей у каждой, и имеет предельное разрешение 0.15 мм на расстоянии минимального зрения и 3–4 см на дальности 100 м;

Расположение научных приборов на марсоходе *Perseverance*. Изображение NASA/JPL-Caltech



- Лазерная камера-спектрометр SuperCam для определения химического и минерального состава и поиска органических компонентов с дистанции до 7 м (Лос-Аламосская национальная лаборатория при участии Института астрофизики и планетологии IRAP, Франция);

- Рентгеновский флуоресцентный спектрометр PIXL (Planetary Instrument for X-ray Lithochemistry) для определения элементного состава материалов марсианской поверхности на малых пространственных масштабах (диаметр луча – 0.12 мм). Прибор, оснащенный дополнительно камерой высокого разрешения, создан в Лаборатории реактивного движения (Jet Propulsion Laboratory, JPL) и может использоваться для поиска следов жизни;

- Ультрафиолетовый рамановский спектрометр SHERLOC (Scanning Habitable Environments with Raman & Luminescence for Organics & Chemicals, также JPL) для поиска минералов, взаимодействовавших с водой, органических молекул и биосигнатур. Как и PIXL, предназначен для работы на малых масштабах с пространственным разрешением 30–50 мкм и имеет в своем составе ультрафиолетовый лазер с длиной волны 248.6 нм. Контекстная камера WATSON (Wide Angle Topographic Sensor for Operations and Engineering) с кадром 23 × 15 мм является копией инструмента MAHLI предыдущего ровера;

- Подповерхностный радар RIMFAX (Radar Imager for Mars' Subsurface Experiment) для исследования структуры марсианского грунта с сантиметровым разрешением поставлен Исследовательским институтом Вооруженных сил, Норвегия. Рабочий диапазон – от 150 до 1200 МГц, глубина зондирования – 10 м, вертикальное разрешение – до 15 см. Антенны прибора располагаются внизу и сзади ровера;

- Метеокомплекс MEDA (Mars Environmental Dynamics Analyzer) с приборами для измерения температуры, давления,

скорости и направления ветра, относительной влажности, формы и размеров пыли, радиационной обстановки (Центр астробиологии Национального института аэрокосмической техники, Испания);

- Экспериментальное устройство MOXIE (Mars Oxygen In-Situ Resource Utilization Experiment) для получения кислорода из углекислого газа марсианской атмосферы путем электролиза с производительностью до 10 г/ч. Разработчик – Массачусетский технологический институт.

Приборы PIXL и SHERLOC размещены на манипуляторе для удобства изучения конкретных камней и участков грунта. Камеры Mastcam-Z и SuperCam смонтированы на ориентируемой мачте RSM, а остальные инструменты – на корпусе ровера или внутри него.

Посадка на Марс планируется на 18 февраля 2021 г. в точке 18.85° с.ш., 77.52° в.д., на западной оконечности долины Изиды, в кратере Езеро (Jezero) с мощными озерными отложениями возрастом 3.5 млрд лет. Расчетный срок функционирования ровера – по крайней мере один марсианский год (687 земных суток), он может пройти от 5 до 20 км.

В качестве попутного груза «под брюхом» у ровера будет доставлен на Марс экспериментальный автономный вертолет, созданный в JPL и получивший имя *Ingenuity* («Изобретательность»). Изделие массой 1.8 кг имеет корпус размером 20 × 16 × 14 см и приводится в движение двумя соосными винтами диаметром 1.2 м. Учитывая крайне разреженную атмосферу планеты, винты будут вращаться со скоростью 3000 об/мин, вдесятеро большей, чем у его земных собратьев. Источником энергии изделия являются солнечные батареи.

Вертолет планируется отделить на 66-й день работы *Perseverance* на Марсе. На протяжении следующих 30 суток запланированы до пяти подъемов на все большие высоты, вплоть до 400 м, со съемкой в полете.

От редакции

Сегодня Марс исследуют роботы. Люди пока не могут полететь на Красную планету, но – при благоприятной погоде и в определенное время – все могут увидеть Марс на небосклоне. Этой осенью нас ждет очередное противостояние Марса – момент, когда Солнце, Земля и Марс выстраиваются в одну линию.



Изменение угловых размеров (видимый диаметр диска планеты) Марса в 2020 году в сравнении с диском Луны. Иллюстрация: NASA/SVS/AstroAlert

13 октября 2020 года Марс вступит в противостояние с Солнцем и окажется на расстоянии 62.6 млн км от Земли при блеске – 2.7 зв. вел. (в три раза ярче Сириуса). Видимый диаметр планеты составит 22.5 угловые секунды. При этом условия для наблюдателей из России будут лучше, чем даже во время Великого противостояния 2018 года, поскольку планета будет находиться высоко над горизонтом.



Видимость Марса на ночном небе 13 октября 2020 г. в 02:28:49 (широта Москвы). Изображение сгенерировано программой Stellarium <https://stellarium.org/>

Выражаем благодарность за подготовку иллюстраций
набliku AstroAlert | Наблюдательная астрономия <https://vk.com/astro.nomy>

С новыми книгами
Издательства “Наука”
вы можете ознакомиться на сайте
naukabooks.ru



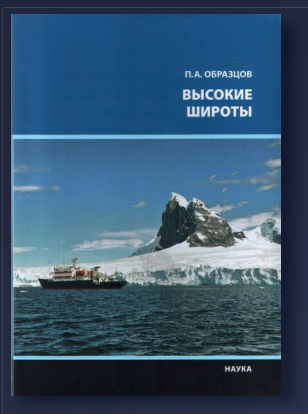
Капанадзе А.Л.

**Опытным путем:
Эксперименты, изменившие мир.**

М.: Наука, 2019. – 319 с.

В книге рассказывается об основных вехах в развитии экспериментальных методов в самых разных областях наук о природе, человеке и обществе – физике, химии, астрономии, биологии, физиологии, медицине, археологии, социологии, психологии, экономике. Охвачен период с античных времен до наших дней. Читатель узнает о знаменитых и малоизвестных опытах, оказавших огромное влияние на формирование наших представлений о мире и о нас самих. Большое внимание автор уделяет не только истории приборов и технологий, но и истории идей. Затрагиваются проблемы отличия классического эксперимента от наблюдения (когда опыт «ставит» сама природа), преемственности технических инноваций, влияния общественного климата на работу экспериментатора, роли случайности в этой работе.

Для широкого круга читателей.



Образцов П.А.

Высокие широты.

М.: Наука, 2018. – 192 с. – (Научно-популярная литература)

Книга повествует об открытии и освоении Арктики и Антарктики, этих двух полюсов холода и мужества, об отважных героях, благодаря которым человечество узнало о природе, животном мире самых северных и самых южных земель, а также о том, какая непростая и вместе с тем увлекательная жизнь идет сегодня в этих суровых, таинственных и манящих краях.

Для широкого круга читателей.



Верещагин Г.В., Аксенов А.Г.

Релятивистская кинетическая теория с приложениями в астрофизике и космологии.

М.: Наука, 2018. — 471 с.

Релятивистская кинетика широко применяется в астрофизике и космологии. В последние годы интерес к этой теории вырос, поскольку появилась возможность ставить эксперименты при таких условиях, где релятивистские эффекты становятся существенными. Настоящая монография состоит из трех частей. В первой части представлены основные идеи и концепции, уравнения и методы теории, включая вывод кинетических уравнений из релятивистской цепочки Боголюбова, а также соотношение кинетического и гидродинамического описаний. Вторая часть — это введение в вычислительную физику, причем особое внимание уделяется численному интегрированию уравнений Больцмана и смежным вопросам, а также многокомпонентной гидродинамике. В третьей части дан обзор приложений, который охватывает вопросы ковариантной теории отклика, термализации плазмы, комптонизации в статических и динамических средах, кинетики самогравитирующих систем, образования структуры в космологии и излучения нейтрино при гравитационном коллапсе.

Для студентов старших курсов университетов, аспирантов и исследователей, специализирующихся в области теоретической физики, астрофизики и космологии.

naukabooks.ru

Реклама

СКРЫТЫЙ ОКЕАН ЦЕРЕРЫ

АНАНЬЕВА Владислава Игоревна

Институт космических исследований РАН

DOI: 10.7868/50044394820050047

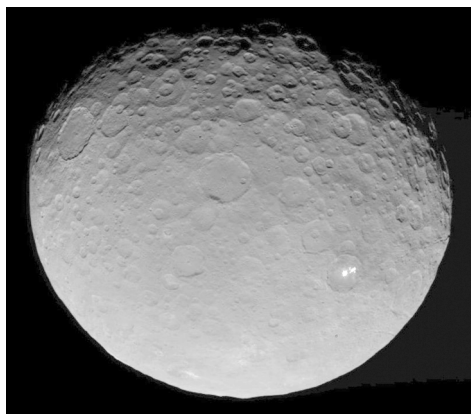
Анализ данных, собранных автоматической межпланетной станцией Dawn (NASA) во время расширенной миссии, показал, что в недрах Цереры скрыт соленый океан, который и по сей день не замерз полностью.

Церера – крупнейшее тело Главного пояса астероидов, в 2006 г. получившее статус карликовой планеты. Ее форма – сплюснутый эллипсоид размерами примерно 964 на 892 км, т. е. в 3.7 раза меньше Луны. Церера вращается вокруг Солнца по слабоэллиптической орбите с большой полуосью 2.77 а.е. и эксцентриситетом 0.076, и делает один оборот за 4.61 года. Средняя температура поверхности Цереры – всего 155 К (–118° С).

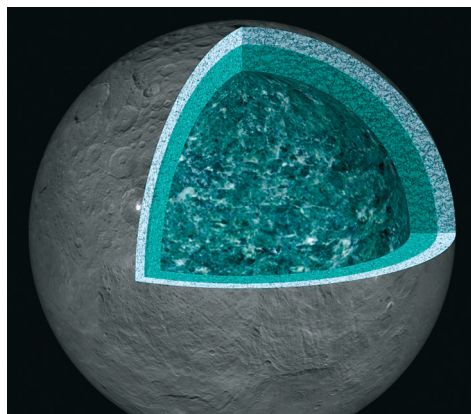
Что можно ожидать от такого небольшого тела, лишенного внутренних источников тепла? Даже на Луне вулканическая активность утасла миллиарды лет назад. Долгое время ученые считали, что Церера – инертный мир, покрытый ударными кратерами и лишенный какой-либо внутренней активности. Однако данные, собранные КА Dawn (NASA, запуск 2007 г., миссия официально завершена в 2018 г.), показали, что это совсем не так. Церера оказалась планетой с богатой геологической историей, до настоящего времени проявляющей геотермальную активность и скрывающей в своих недрах жидкий соленый океан.

10 августа в журналах *Nature Astronomy*, *Nature Geoscience* и *Nature Communications*¹ было опубликовано семь статей, посвященных Церере (кроме этого, последние статьи находятся

в открытом доступе). Исследователи объединили данные о гравитационном поле карликовой планеты, о составе ее

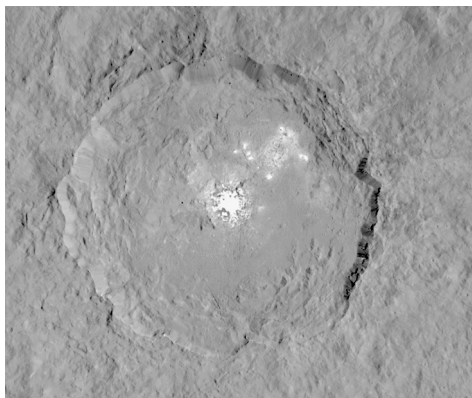


Церера. Снимок получен КА Dawn 4 мая 2015 г. с расстояния 13.6 тыс. км



Модель внутреннего строения Цереры

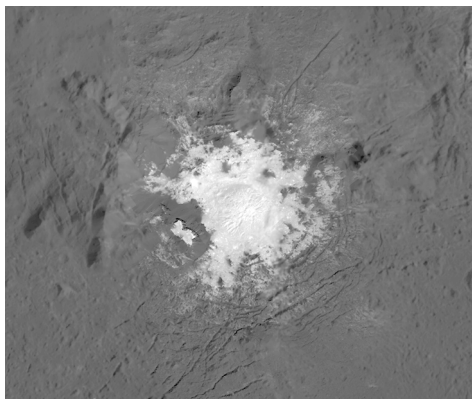
¹ Nature Astronomy 4, 8, August 2020; Nature Geoscience 13, 8; Nature Communications 11. <https://www.nature.com>



Кратер Оккатор, дно которого покрыто яркими пятнами («факелами») – отложениями соды и других солей

поверхности и о формах рельефа, чтобы получить цельную картину этого необычного мира.

Как оказалось, Церера прошла частичную гравитационную дифференциацию (разделение на слои) и состоит из более плотной мантии и легкой коры со средней толщиной 41 км. Механически прочная кора представляет собой замерзшую грязь – в ее составе 40% или несколько меньше водяного льда, каменные породы (преимущественно филосиликаты), соли и клатраты метана. Непосредственно под



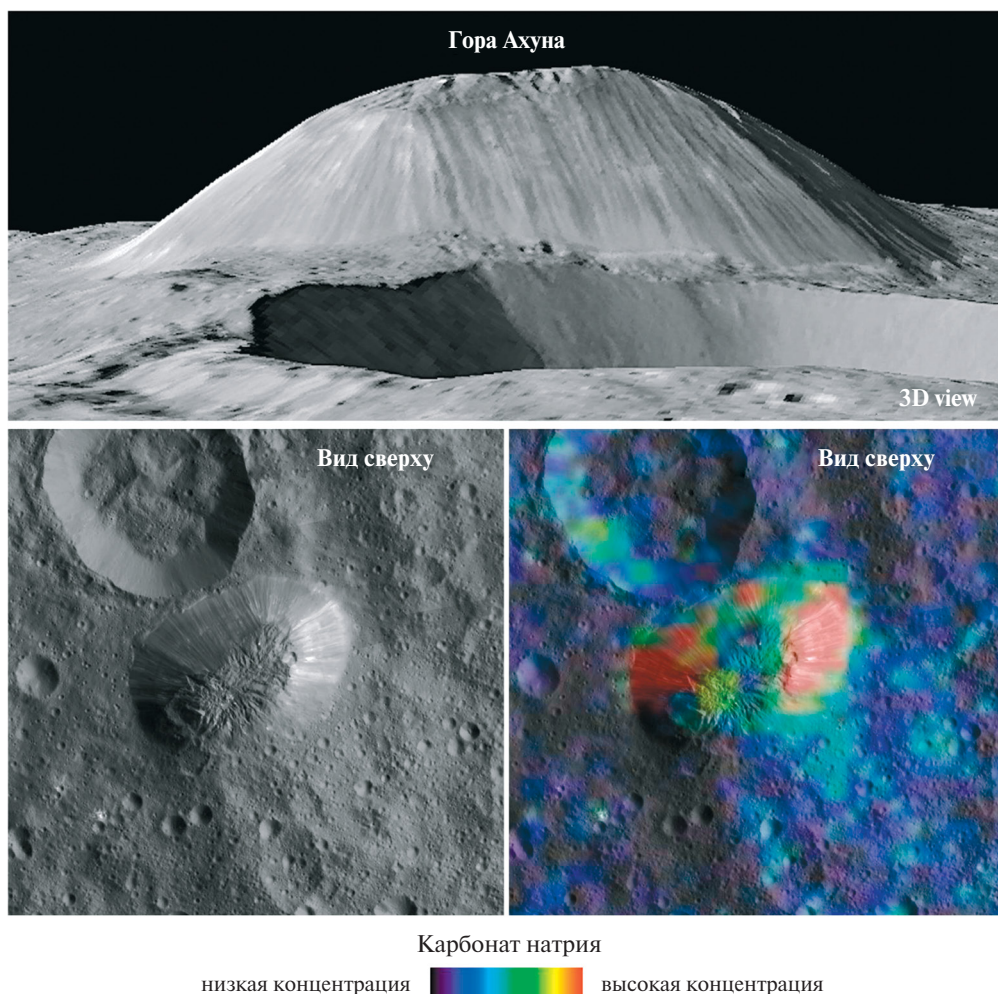
Центральная часть кратера Оккатор – факел Цереалий вместе с центральным соляным куполом *Cerealia Tholus*

корой, в верхней мантии, находится непрочный слой, насыщенный жидким рассолом – остаток древнего океана. Среди солей, растворенных в воде, – хлорид натрия (поваренная соль), карбонат натрия (сода) и хлорид аммония. Растворенные соли позволяют воде не замерзать вплоть до 245 К (–28° С). Под слоем рассола (глубже 100 км) лежит мантия из горных пород со средней плотностью 2434 кг/м³.

Одна из самых заметных деталей рельефа на поверхности Цереры – 92-километровый ударный кратер Оккатор, чей возраст оценивается в 22 млн лет. Дно этого кратера покрыто яркими пятнами – отложениями солей, преимущественно соды, получившими наименования «факелов»: *Cerealia Facula*, *Vinalia Faculae* и др. В центре кратера расположен 600-метровый соляной купол Цереалий (*Cerealia Tholus*).

В конце расширенной миссии КА *Dawn* вышел на эллиптическую орбиту с высотой перицентра в 35 км. Разрешение снимков, полученных в моменты максимального сближения, достигло 3 метра на пиксель! Изображения, полученные во время этих пролетов, показали центральный факел Оккатора Цереалий (*Cerealia Facula*) во всех подробностях.

Анализ снимков показал, что многочисленные эпизоды подъема грунтовых вод, сопровождающиеся испарением воды и отложением солей, продолжались на протяжении миллионов лет и не завершились и по сей день. Спектрометры КА *Dawn* обнаружили в составе соляного купола минерал гидрогалит (гидратированный хлорид натрия $\text{NaCl} \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), который на поверхности Цереры неустойчив и теряет воду с образованием галита (безводного хлорида натрия) с характерным временем в несколько десятков лет. Больше всего гидрогалита было найдено на вершине купола вблизи пересекающих его радиальных трещин. Толщина солевого слоя меняется от 2–3 м в факеле Виналий (*Vinalia Faculae*) до 50 м и выше на куполе. Общий объем солей, вынесен-



3D-модель горы Ахуна, построенная по топографическим данным (вверху).
Внизу – снимок Ахуны, полученный KA Dawn

ных на поверхность в центральной части Оккатора, достигает 11 км^3 .

Льды, расплавленные астероидным ударом при образовании Оккатора, должны были заморозиться максимум за сотни тысяч лет. Длительное движение грунтовых вод говорит в пользу гипотезы, что поднимающийся рассол состоит не только из воды, нагретой в момент удара, но и имеет постоянный резервуар на глубине свыше 35 км .

Есть и другие свидетельства того, что в прошлом Цереру покрывал океан.

Кора Цереры содержит филлосиликаты, образующиеся в присутствии жидкой воды. Плотность коры нарастает при увеличении глубины, что объясняется не только уменьшением пористости из-за возрастающего давления, но и ростом концентрации солей. По мере того, как океан заморозал, а толщина коры росла, концентрация солей в растворе увеличивалась. Высокая концентрация солей понижает температуру замерзания и позволяет грунтовым водам дольше оставаться жидкими.

Кроме соляных отложений, дно кратера Оккатор демонстрирует и другие формы гляциологического рельефа – например, многочисленные округлые холмы и курганы высотой менее 300 м, напоминающие бугры пучения, которые по-английски называют «пинго» (pingo), а в странах СНГ – булгуньяхами. Такие формы рельефа возникают при замерзании поступающих под давлением грунтовых вод в условиях вечной мерзлоты. Возможно, крупнейшим бугром пучения является и купол Церералий – во всяком случае, рассекающие его трещины очень похожи на трещины на вершинах канадских пинго.

Кроме отложений солей и бугров пучения на Церере нашли и два настоящих криовулкана – 4-километровую гору Ахуна (Ahuna Mons) и 3.8-километровый купол Косеча (Cosecha Tholus). Склоны Ахуны покрыты толстым слоем карбоната натрия. По всей видимости, вместо лавы Ахуна и Косеча извергали холодную вязкую грязь, богатую солями.

Поскольку криолава богата водой, а водяной лед под давлением медленно течет, вулканические конусы из смеси

льда и камня будут постепенно оседать и расплываться. Так, при условии, что в состав криолавы входит 40% воды, гора Ахуна должна оседать со скоростью ~10 метров в миллион лет. Скорее всего, именно текучесть даже мерзлой криолавы приводит к тому, что мы видим на поверхности Цереры только два самых молодых криовулкана. Заметим, что если диаметр основания горы Ахуна составляет 17 км, то диаметр основания купола Косеча близок к 50 км, т. е. последний уже в значительной степени расплылся.

Недавняя криовулканическая активность, движение ледников, просачивание грунтовых вод, еще полностью не замерзший подледный океан – все это делает Цереру интереснейшим местом для сравнительной планетологии и астробиологии. Ученые надеются, что в будущем к Церере будет отправлена новая миссия, которая позволит ответить на множество вопросов – и, наверно, породит новые.

*По материалам Nature, NASA
Иллюстрации: Фотожурнал NASA
<https://photojournal.jpl.nasa.gov>*



А вы отправили обязательный экземпляр?

Издательство «Наука» предлагает организациям
и независимым издателям услугу по отправке
Обязательного Электронного Экземпляра
в Российскую государственную библиотеку
и Российскую книжную палату

При размещении научных, научно-популярных книг и журналов в Электронной библиотечной системе
Издательства «Наука» (libnauka.ru) данную услугу мы предоставляем бесплатно

Задать вопрос и узнать о стоимости услуги вы можете по адресу cee@naukaran.com

ВИКТОРИНА ЮНЫХ ФИЗИКОВ ОТДЕЛЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ НАУК РАН

ГОЛОВАНОВА Алина Владимировна,
МАГАРЯН Константин Арутюнович,
НАУМОВ Андрей Витальевич

Институт спектроскопии РАН

Московский педагогический государственный университет

DOI: 10.7868/50044394820050059

С 4 по 24 мая 2020 года, в период вынужденной самоизоляции для многих граждан нашей страны, Отделение физических наук РАН провело Всероссийскую онлайн-викторину юных физиков. Вопросы и задачи викторины, предложенные членами и профессорами РАН, были ориентированы на школьников, интересующихся физикой и астрономией. Ниже приводятся основные результаты проведенного конкурса вместе с условиями и решениями задач, имеющих непосредственное отношение к профилю журнала «Земля и Вселенная».

Интересы современной молодежи выходят далеко за рамки школьной программы. Отчасти это связано с доступностью самой разной информации в сети Интернет, отчасти со сменой технологического уклада, приведшей к значительному расширению сфер человеческой деятельности. По этим причинам необходимо серьезно пересмотреть имеющиеся образовательные и профориентационные методики и способы привлечения внимания школьников к достижениям и трендам современной науки. По большому счету речь идет о необходимости создания новой системы подготовки кадров, особенно для науки и высокотехнологического производства.

Особую роль в этой деятельности традиционно играет Российская академия наук и ее члены, возглавляющие основные научные направления в исследовательских институтах и образовательных учреждениях. Так, в последнее время разрабатываются новые формы внеаудиторной образовательной деятельности, нацеленные на популяризацию науки

среди школьников, раскрытие их личностного потенциала и приобретение первичных профессиональных знаний. При участии РАН реализуются различные образовательные программы, курсы повышения квалификации, популяризационные мероприятия. На федеральном уровне регулярно проводятся фестивали науки, открытые лекции, мастер-классы и т. д.

В городе Москва в последние годы эффективно функционируют проекты Городского методического центра Департамента образования г. Москвы: «Инженерный класс», «Медицинский класс», «Академический (научно-технологический) класс», «Курчатовский проект», – нацеленные на вовлечение школьников в научно-исследовательскую, практическую работу с научными организациями и университетами. Эти проекты имеют большой успех, – сотрудничество школ с университетами и научно-исследовательскими институтами позволило организовать подготовку квалифицированных специалистов, начиная со школьной скамьи.

В 2019 г. по инициативе Президиума РАН и Министерства просвещения РФ стартовал проект «Базовые школы РАН», объединивший 108 ведущих школ в 32 регионах РФ. За короткое время этот проект продемонстрировал беспрецедентно высокую эффективность вовлечения ведущих ученых нашей страны в школьный образовательный процесс. Особенно продуктивными оказались мероприятия, в рамках которых учащиеся общеобразовательных школ могли непосредственно общаться с членами РАН.

ского общества и Московского педагогического государственного университета провели Всероссийскую викторину по физике и астрономии с вопросами и задачами от ведущих ученых, членов и профессоров ОФН РАН. Разработчики викторины дали ей название «Победная», приурочив ее к празднованию 75-летия Победы в Великой Отечественной войне.

Каждые два дня на сайте Отделения физических наук РАН (<https://gp.ad.ac.ru/edu/>) публиковались задания для трех возрастных групп: 5–7 классы,

Эти девять вопросов были одними из самых интересных и занимательных из всех вопросов и задач, которые я видел в последнее время. Особенно на фоне экзаменационных. Хотя я и не мог дать полный и максимально верный ответ на все вопросы, но гораздо важнее то, что они заставили меня задать новые вопросы самому себе. После того, как я отправлял ответы, я много времени проводил в изучении тех физических тем, которым я не уделял достаточно времени. Я открыл для себя множество интересного в астрофизике, множество непонятного в квантовой физике и многое другое. Я не только понял свои ошибки, но и на 100% убедился в том, чем хочу заниматься в своей жизни, несмотря на различные трудности и неудачи. Я хочу стать ученым, но даже если мне это не удастся, я буду изучать мир дальше всю свою жизнь не только потому, что это кому-либо нужно, хотя мне бы хотелось быть полезным для людей, но и потому, что мне приносит это удовольствие, я вижу в этом свою человеческую потребность. Спасибо вам за викторину! (Анатолий Александров, ученик 11 класса, Новосибирск)

Но особым вызовом для всех образовательных учреждений и в нашей стране, и во всем мире стал период вынужденной изоляции весной 2020 года. В это время дистанционные и самостоятельные формы работы с учащимися приобрели принципиальное значение. С еще большей остротой встал вопрос о способах привлечения интереса школьников к научному образу мышления, к новым технологиям, а для выпускников – вопросы профессиональной ориентации и выбора направления и вуза для дальнейшего обучения.

Одним из ответов на эти вызовы стала инициатива Президиума РАН и Отделения физических наук РАН, которые при поддержке Российского физиче-

ского общества и Московского педагогического государственного университета провели Всероссийскую викторину по физике и астрономии с вопросами и задачами от ведущих ученых, членов и профессоров ОФН РАН. Разработчики викторины дали ей название «Победная», приурочив ее к празднованию 75-летия Победы в Великой Отечественной войне.

Каждые два дня на сайте Отделения физических наук РАН (<https://gp.ad.ac.ru/edu/>) публиковались задания для трех возрастных групп: 5–7 классы, 8–9 классы, 10–11 классы. Вопросы по физике и астрономии были предоставлены школьникам от 27 ученых – членов отделения: 11 академиков, 10 членов-корреспондентов и 11 профессоров РАН. Все вопросы были нестандартными, могли не иметь однозначного решения, поэтому от учащихся требовалась физическая смекалка, рассудительность и широкий кругозор.

г. Челябинск. Затем с большим отставанием идут: Лицей №77, г. Челябинск (75 человек), Инженерный лицей № 83 имени Героя Советского Союза Матвея Савельевича Пинского городского округа, г. Уфа (57 человек), Лицей «Физико-техническая школа», г. Обнинск (38 человек), Лицей № 136, г. Новосибирск (37 человек) и другие. По итогам викторины 300 человек приняли участие не менее чем в 7 турах викторины и получили специальный электронный сертификат от ОФН РАН. 64 человека получили дипломы, трое – похвальные листы. Победителями викторины стали 5 человек.

В старшем звене (10–11 класс), набрав 29 баллов, абсолютным победителем стал **Анатолий Александрович Александров** (11 класс СОШ № 45, г. Новосибирск). В среднем звене (8–9 класс), набрав 26 баллов, победителем стал **Денис Дмитриевич Бабушкин** (9 класс ОЦ «Горноста́й», г. Новосибирск). В младшем звене (5–7 классы), набрав 28 баллов, победителем стал **Михаил Антонович Птицын** (5 класс Физико-технического лицея №1, г. Саратов). В смешанном звене (5–11 классы) два победителя: **Михаил Алексеевич Ураков** (7 класс Экономико-математического лицея № 29, г. Ижевск) и **Полина Витальевна Сизова** (7 класс Гимназии № 11, г. Самара), набравшие 32 и 31 балл соответственно. Похвальным листом была отмечена учащаяся Лицея № 11, г. Челябинск, **Майя Вадимовна Горшенина**, принявшая участие только в 6 турах, но получившая максимальный балл в каждом из них и набравшая 18 баллов. Два других похвальных листа за участие получили самые юные участники победной викторины – учащиеся 3 и 4 класса из городов Киров и Саратов.

Призеры представили 42 разные школы из 31 города России. Из них 32 школы – Базовые школы РАН, одна школа

(Лицей г. Троицк, г. Москва) – участник проекта «Академический класс в московской школе», и еще одна (Гимназия им. Н.В. Пушкина, г. Троицк, г. Москва) – участник московского проекта «Математическая вертикаль».

Первое место по количеству призеров (4 человека) заняли три школы – Инженерный лицей НГТУ, г. Новосибирск, Лицей №11, г. Челябинск, и Одинцовский «Десятый лицей». Второе место заняли четыре школы: Балашихинский лицей, Лицей № 110 им. Л.К. Гришиной, г. Екатеринбург, Лицей № 17, г. Северодвинск, Сергиево-Посадский физико-математический лицей. Количество призеров из перечисленных школ составило 3 человека. Все вышеперечисленные школы – Базовые школы РАН.

Организаторы конкурса рассчитывают, что викторина ОФН РАН станет регулярным весенним мероприятием, в ходе которого учащиеся школ получают возможность напрямую пообщаться с представителями академии, ведущими учеными нашей страны.

Среди представленных для решения задач почти половина имеют непосредственное отношение к вопросам физики Земли, астрономии и астрофизики. Учитывая, что астрономия после долгого перерыва снова введена в школьный курс, возможность разбора таких задач на уровне взаимодействия школ и Российской академии наук представляется особенно важной. Ниже организаторы викторины приводят условия и возможные решения тех задач викторины, которые имеют непосредственное отношение к профилю журнала «Земля и Вселенная».

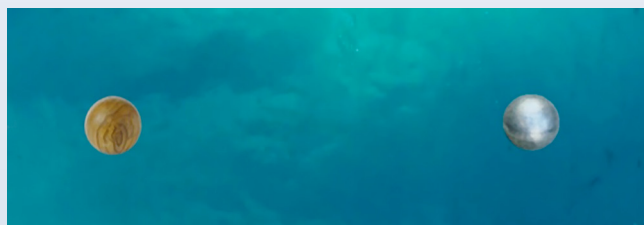
Публикация подготовлена в рамках Государственного задания ФГБОУ ВО «МПГУ» по теме: «Физика наноструктурированных материалов: фундаментальные исследования и приложения в материаловедении, нанотехнологиях и фотонике».

*Задачи победной викторины юных физиков
Отделения физических наук РАН 2–24 мая 2020 года*

Задача 1 (2 тур, 8–9 классы)

Как будут вести себя два шарика, деревянный и железный, если поместить их в бесконечное пространство, заполненное водой?

Автор: академик РАН, д.ф.-м.н. Роберт Арнольдович Сурис



Задача 2 (3 тур, 5–7 классы)

В стенах некоторых европейских соборов есть специальное небольшое отверстие, через которое иногда пробивается солнечный луч. Зачем нужно это отверстие?

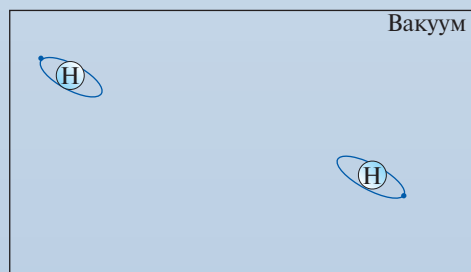
Автор: профессор РАН, д.ф.-м.н. Дмитрий Зигфридович Вибе



Задача 3 (3 тур, 8–9 классы)

Представим себе, что в вакууме встретились два атома водорода. Может ли образоваться молекула водорода H_2 ?

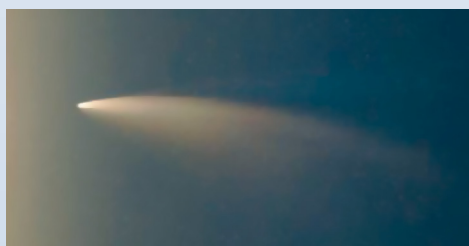
Автор: академик РАН, д.ф.-м.н. Кев Минуллинович Салихов



Задача 4 (3 тур, 10–11 классы)

Возвращаясь из межзвездного похода, Вы – юный командор – обнаружили кометное тело на границе Облака Оорта. Приборы подсказали Вам, что комета массой 1 млн тонн сейчас находится в афелии на расстоянии 100 тысяч астрономических единиц (а.е.) и движется по сильно вытянутой орбите с перигелийным расстоянием 1 а.е. Комета может столкнуться с Землей и уничтожить крупный город, и Вы оцениваете, что можете сделать. Компьютер сообщил Вам: чтобы предохранить Землю от столкновения на этот раз и в будущем, нужно изменить орбиту кометы так, чтобы перигелийное расстояние ее орбиты стало не менее 1.1 а.е. У Вас есть один снаряд (болванка) массой 2 тонны, который вы можете выпустить в комету из корабельного рельсотрона со скоростью (относительно кометы) 10 км/с. Поскольку в астероидно-кометную опасность начальство на Земле не верило, то специальных программ в компьютере нет. Вы сами должны просчитать Ваши возможности и принять ответственное решение. А теперь вопросы: 1. Хватит ли Вам этого ресурса для выполнения задачи. 2. В каком направлении по отношению к вектору скорости кометы нужно стрелять, чтобы добиться максимального эффекта. Ответ нужно подкрепить расчетами.

Автор: член-корреспондент РАН, д.ф.-м.н. Борис Михайлович Шустов



Задача 5 (4 тур, 8–9 классы)

На Луне построили крытый стадион с земным воздухом. На стадионе есть беговая дорожка 30 м. Вася Пятеркин на Земле выполнил норму третьего разряда на этой дистанции (4.2 секунды, высокий старт), но на Луне у него не получилось быстрее 8 секунд. Почему?

Автор: профессор РАН, д.ф.-м.н. Алексей Николаевич Рубцов



Ответы см. на стр. 106

Продолжение задач будет опубликовано в № 6, 2020

РАЗРУШИВШИЙ «КАНАЛЫ» МАРСА...

К 150-летию со дня рождения Э.М. Антониади

ЕРЕМЕЕВА Алина Иосифовна,

кандидат физико-математических наук

Государственный астрономический институт им. П.К. Штернберга МГУ

DOI: 10.7868/50044394820050060

Эжен Мишель Антониади (Eugene Michel Antoniadi, 1870–1944) – французский астроном-наблюдатель греческого происхождения (подлинное имя – Эугениус Михаил Антониадис) родился 1 марта 1870 г. в г. Константинополе (ныне Стамбул) и происходил из распространенной (с той же фамилией) греческой части уроженцев города. Он получил классическое гуманитарное образование (в совершенстве владел европейскими языками, древнегреческим и латынью, имел глубокие знания литературы, истории), а также специальность архитектора и рано проявил необычайный талант рисовальщика.

В историю европейской науки и культуры, однако, Антониади вошел как уникальный астроном-любитель, непревзойденный наблюдатель по точности своих зарисовок поверхностей планет и стал разрушителем одной из самых больших иллюзий в астрономии конца XIX – начала XX вв. – знаменитых марсианских каналов, породивших представление о существовании первой внеземной цивилизации в Солнечной



Эжен Мишель Антониади.
1920-е гг.

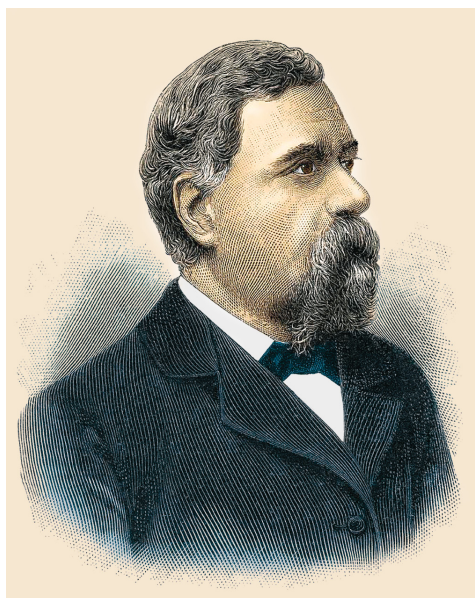
системе. Именно Марс – планета с наиболее доступной для наблюдений поверхностью – первым привлек внимание астрономов к изменениям на ней. В конце XVIII в. еще Вильям Гершель открыл сезонные изменения полярных шапок Марса (ЗиВ, 2008, № 6). Но особое внимание к Марсу привлекли его наблюдения и книги о нем уникального французского астронома-просветителя, убежденного сторонника

и пропагандиста идеи распространности жизни во Вселенной Камилла Фламариона (1842–1925; ЗиВ, 1967, № 2; 1992, № 1). Начав с 1873 г. регулярные наблюдения Марса, Фламарион зарисовывал детали его поверхности и подтвердил их сезонные изменения. В его частной обсерватории под Парижем в Жювизи Марс становится главным объектом исследований, а сама обсерватория – центром, куда стекалась информация о нем от многих наблюдателей¹. Открытие Флам-

¹ См. Историко-астрономические исследования. Вып. XXIX, 2004. С. 167–208.



Камилл Фламмарион. 1890-е гг.



Джованни Скиапарелли. Гравюра по фото 1870-х гг.

марионом (1876) изменений внешнего вида темных областей Марса вдохновили на исследования этой планеты итальянского астронома Джованни

Скиапарелли (1835–1910; ЗиВ, 2010, № 5). В результате цикла наблюдений Марса (1877–1886) Скиапарелли открывает загадочные вытянутые, почти прямолинейные образования, пересекающие планету в разных направлениях, которые он назвал *canali* – сначала просто для передачи их связующей роли между более обширными темными областями в экваториальной части планеты. Но их казавшаяся геометрическая правильность и грандиозность (по оценкам, тысячи км в длину, десятки и сотни в ширину) не замедлили вызвать у наблюдателей представление о существовании на Марсе высокотехнологичной цивилизации – как первом примере давно лелеемого человечеством открытия «братьев по разуму». Сам Скиапарелли был увлечен этой идеей и отстаивал ее всю жизнь.

В 1887–1888 гг., также вдохновленный книгами Фламмариона, астрономические наблюдения начинает 17-летний Антониади. Он работает сначала в Константинополе, затем на острове Принкипо в Мраморном море, с небольшими телескопами с объективами в 7.5 см, позднее (с 1892 г.) в 10.8 см. Узнав о создании в Париже (1887) Фламмарионом Французского астрономического общества, Антониади с 1889 г. начинает посылать его основателю свои результаты – удивительно точные зарисовки поверхности Марса и в 1891 г. становится его членом.

В 1893 г. (при содействии Фламмариона, восхищенного талантом юноши) Антониади переезжает в Париж и становится сотрудником его частной обсерватории в Жювизи, наблюдателем на 9.5" рефракторе-экваториале ($D = 24$ см, $F = 3.75$ м) конструкции оптика Барду. По перемещению деталей поверхности Марса Антониади измеряет период его вращения – это традиционная задача планетной астрономии с XVII в. – и подтверждает последнюю



Э.М. Антониади. 1893 г.

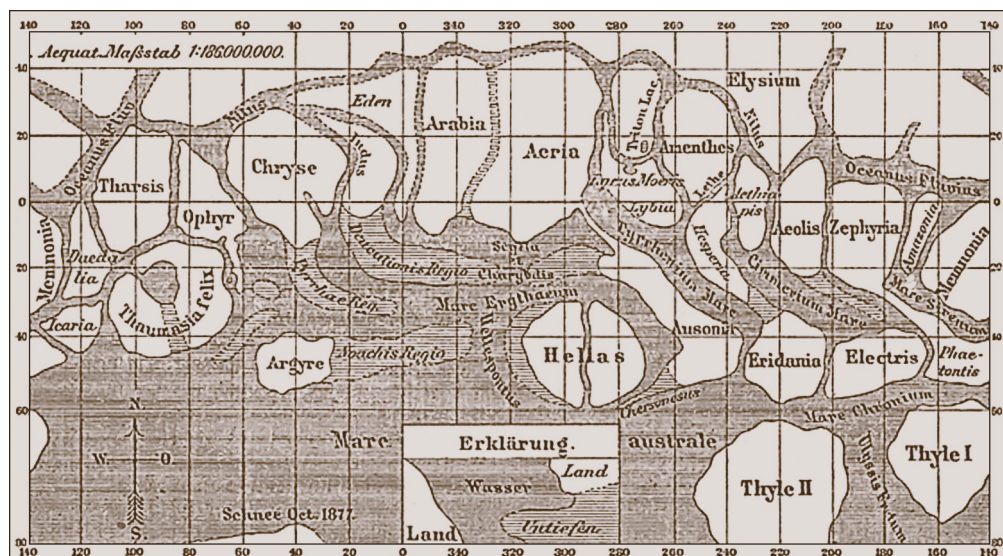
24-см рефрактор-экваториал
обсерватории в обсерватории Жювизи



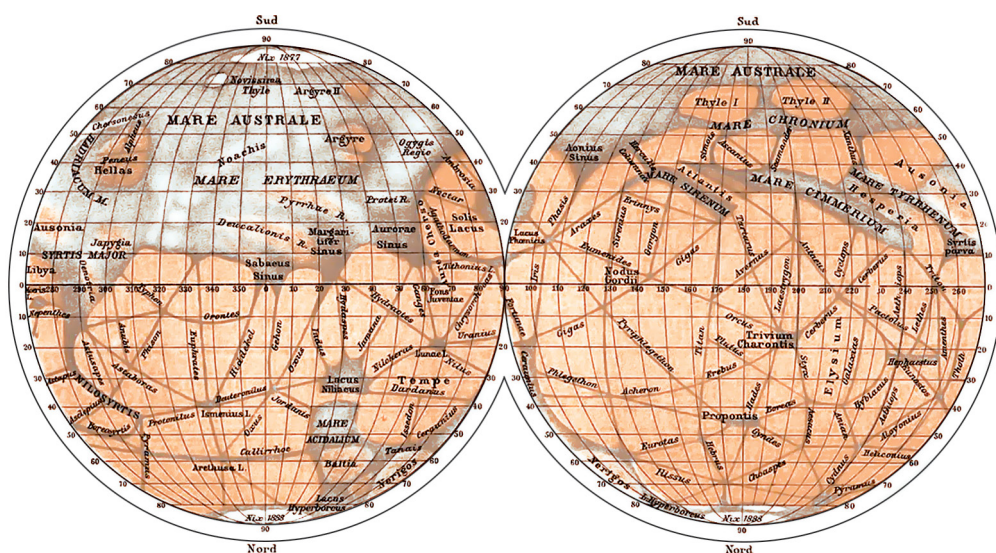
оценку, принадлежавшую Скиапарелли. Но главной целью в XIX в. становится для всех изучение самих деталей на поверхности красной планеты. К этому времени уже выходит первый том энциклопедического двухтомного труда Фламариона «Планета Марс и условия обитаемости на ней» (1892), в котором собраны все известные наблюдения Марса с 1636 г. с сотнями зарисовок и карт планеты. Второй том вышел в 1909 г., для завершающего третьего автор успел лишь собрать материал. В 1888 г. Скиапарелли публикует планисферу экваториальной области Марса с «каналами», составленную по своим наблюдениям 1877–1888 гг.

Под воздействием работ Фламариона и Скиапарелли Антониади уже в 1896 г. составляет свою первую планисферу планеты. К этому времени он уже авторитетный член и Британской

астрономической ассоциации. Узнав о ее организации в 1890 г., Антониади одним из первых в 1892 г. записался в члены ее Отдела Марса, который спустя четыре года сам и возглавил. В том же году он был командирован от обсерватории Жювизи в Норвегию для наблюдения полного солнечного затмения (в составе экспедиции Британской астрономической ассоциации). И хотя наблюдения не удалась из-за погоды, но редкое событие так впечатляюще проявилось в общей картине «пурпурного неба и золотистых пляжей на горизонте», что Антониади-художник не преминул сохранить ее в своей зарисовке. В 1899 г. Антониади становится также членом Королевского астрономического общества в Лондоне. Вместе с тем, уже в конце 1890-х гг. он начинает сомневаться в реальности каналов Марса.



Планисфера экваториальной области Марса, созданная Дж. Скиапарелли в 1888 г.



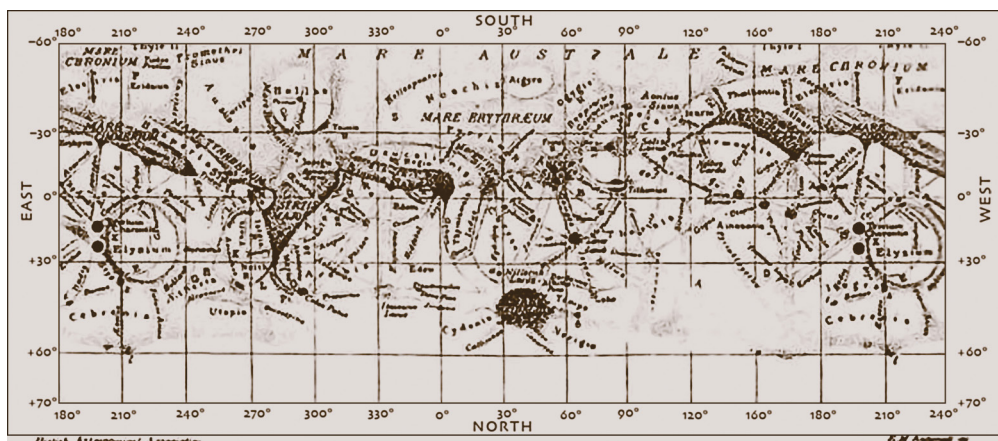
Carte d'ensemble de la planète Mars

avec ses lignes sombres non doublées
observées pendant les six oppositions de 1877-1888
par J.N. Schiaparelli.

Общая карта Марса по наблюдениям 1877-1888 гг. Дж. Скиапарелли.

Склонный работать в одиночку, Антониади напряженно всматривается в окуляр телескопа, впитывая острым зрением зыбкое изображение поверх-

ности далекой планеты, и, оторвавшись от него, тут же на маленьком столике зарисовывает увиденную картину в поразительно тонких деталях.



Планисфера экваториальной области Марса, разработанная Э.М. Антониади в 1896 г.

Так описывали стиль работы Антониади его друзья и автор большой содержательной статьи о нем в журнале *L'Astronomie* (основанном Фламмарионом), написанной к 50-летию его кончины (1994) Р. МакКимом (в те годы глава отдела Марса в Британской астрономической ассоциации) и цитируемой здесь и ниже². Возможно, именно ввиду своих личных особенностей, некоторой замкнутости, индивидуализма и в жизни, и в науке – Антониади не смог надолго ужиться с Фламмарионом как сотрудник в Жювизи (жил он всегда в Париже), желая быть более свободным в своей деятельности астронома. За исключением нескольких лет (с 1896 г.) скромно оплачиваемой работы по контракту в Жювизи³, Антониади никогда и нигде не занимал официальной должности, оставаясь «свобод-

ным художником» – астрономом-любителем. В 1900 г. он даже переселился на некоторое время в Англию, но вскоре вернулся в Париж. В 1902 г. Антониади совсем ушел в отставку из обсерватории и даже вышел из Французского астрономического общества.

Оба – Камилл Фламмарион и Эжен Антониади были слишком самодостаточными⁴ личностями, очевидно, не склонными к взаимным уступкам и творческому сотрудничеству. Между тем контракт в Жювизи предусматривал их общую подпись под научными публикациями Антониади, что

² R. McKim. La vie et l'oeuvre de E.M. Antoniadi (1870–1944) // *L'Astronomie*. Vol. 108. 1994, nov., p. 308–314; dec., p. 341–350. (Опубликована в переводе с английского).

³ Официально в обсерватории была лишь одна ставка адъюнкта и занимал ее сначала другой помощник Фламмариона, также выросший в специалиста из любителя – Ф. Кениссе (1872–1951).

⁴ К этому стоит добавить отмеченную МакКимом и малоизвестную особенность Антониади как творческой личности: исключительную сосредоточенность на общении с природой через наблюдения конкретных явлений и объектов, их ответственную интерпретацию и категорическое неприятие умозрений. Так, впоследствии ему представлялись совершенно чуждыми науке (как надуманные) не прошедшие мимо его внимания умозрительные конструкции вроде четырехмерно пространства-времени, начинавшие в 1930-е гг. входить в физическую картину мира и коренным образом изменявшие ее...



Э.М. Антониади на борту паровой яхты *Worse King* в 1896 г. на пути в Норвегию для наблюдения солнечного затмения 1896 г. Из *J. Br. Assoc.* 101, 1994, p. 195.

продолжалось, как пишет МакКим, до 1920 г. Но он же добавляет, что их дружеские отношения в жизни сохранялись. В 1902 г. Антониади женился на Екатерине Севастопулос, дочери состоятельного представителя греческой диаспоры (колонии) в Париже, и Фламарион присутствовал на их свадьбе. Антониади же всегда обращался в письмах к нему как к Мастеру (*mon maitre Flammarion*) и высоко ценил выдающегося ученого.

Уникальный талант скрупулезного, точного наблюдателя с удивительно острым зрением и астронома-рисовальщика открывал перед Антониади двери научных обществ и обсерваторий. (Несмотря на входившую в практику астрофотографию, точные зарисовки астрономических объектов все еще высоко ценились, не уступая ей порой в схватывании тонких деталей,



33-дюймовый рефрактор обсерватории в Медоне. 1909 г.

что было доказано при сравнении с фотографиями XIX в. рисунков деталей на диске Марса еще Гюйгенса и Гука, XVII в.)⁵ Руководство Антониади секцией Марса в Британской астрономической ассоциации (1896–1917)⁶ охватывало 15 марсианских оппозиций и привело к созданию им 10 «Мемуаров» – выпусков трудов Ассоциации.

На годы сознательной жизни Антониади пришлось четыре великих про-

⁵ Антониади обнаружил в дальнейшем, что фотографии Марса, сделанные на обсерватории Ловелла – главного защитника искусственного происхождения марсианских каналов, больше соответствуют его (Антониади) рисункам, нежели их интерпретации у Ловелла.

⁶ Выйдя в 1917 г. из Британской астрономической ассоциации по неизвестной причине, Антониади возвратился в число ее членов вновь в 1935 г.

тивостояния Марса: 1892, 1909, 1924 и 1939 гг. Второе из них, 24 сентября 1909 г., стало для него и для астрономии решающим и переломным в раскрытии реального характера марсианской поверхности. С приближением первого в XX в. великого противостояния Марса директор обсерватории в г. Медоне⁷ французский астроном Анри Деландр (1853–1948) предложил Антониади наблюдать его в крупный по тем временам 33" (объектив 83 см) рефрактор известной парижской фирмы – братьев Анри⁸.

Лучшее изображение Марса выдалось 20 сентября 1909 г. В эту ночь, как пишет МакКим, «...когда Антониади посмотрел в окуляр, он подумал, что ему снится сон, или что он видит Марс с его спутника». Открывшаяся картина впервые показала Антониади иллюзорность марсианских каналов как правильной системы неких сооружений. 26 сентября 1909 г. он написал одному из своих английских друзей, секретарю Королевского астрономического общества в Лондоне У.Х. Уэсли: «Я видел Марс ближе, чем кто-либо, и я утверждаю, что общие конфигурации [сочетание деталей] планеты совершенно нерегулярны и представляются перекрывающимися пятнами всех степеней контраста. Марс предстал в гигантском (*géante*) телескопе чем-то похожим на Луну или, точнее, на Землю, какой я видел её в 1900 году с воздушного шара на высоте 4000 метров над уровнем моря». А в октябрьском письме ему в том же году добавил: «...Вся эта паутина (*d'araignées*) на Марсе становится мифом прошлого» (МакКим, с. 342).

⁷ Создана в окрестностях Парижа в 1876 г. на месте древнего замка, построенного в 1705 г. королем Людовиком XIV.

⁸ Эта же фирма изготовила в конце XIX в. двойной 15" рефрактор для университетской обсерватории в Москве (ныне в музее ГАИШ МГУ на Красной Пресне).



Художественное изображение Э.М. Антониади вида Марса с его спутника. 1909 г.

В 1910 г. в Журнале Британской астрономической ассоциации Антониади сообщал: «Планета оказалась покрытой невероятным множеством деталей, неподвижных и устойчивых, естественных и логических [*logiques* – видимо, в смысле закономерных, нормальных, ожидаемых?], неправильных и перекрывающихся при полном отсутствии какой-либо геометрии»⁹. Он описал территорию, простирающуюся от Большого Сирта до Эллады (*Hellas*), «как зеленую лужайку, усеянную небольшими пятнами разных размеров и оттенков, с более или менее выраженной зеленью [*зеленым цветом*]» (Там же. МакКим высказывает при этом сомнение: не было ли причиной этого возможное использование Антониади цветных фильтров). В письме от 21 июня 1910 г. американскому астроному Э.Э. Барнард (1857–1923; также отличавшемуся

⁹ «*La planète apparut couverte d'une incroyable myriade de détails, immobiles et stables, tous naturels et logiques, irréguliers et imbriqués, avec une absence totale de toute géométrie*» (с. 342).

необычайной остротой зрения) Антониади развил и уточнил свои заключения: *«Я пришел к выводу, что так называемые каналы – это неправильные, сложные трассы, изрезающие почву, как это делают наподобие наших долины. Они не более правильны, чем наши синклинали [складки земной коры]. Так что эти “таинственные” следы приближают Марс более к естественному виду Земли, чем к искусственному [искусственно созданному] миру»*. Скиапарелли между тем писал Антониади: *«Полигональные и другие структуры, которые вызывают у вас такой ужас (а с вами и у многих других тоже), – это доказанный факт, против которого протестовать бесполезно»* (Там же, с. 343).

Но особенно непреклонным и убежденным последователем и защитником такого объяснения и самой реальности «марсианских каналов» на всю жизнь стал уже упомянутый богатый американский астроном, также из любителей, Персиваль Ловелл (1855–1916), основатель и создатель (1894) своей большой астрономической обсерватории близ

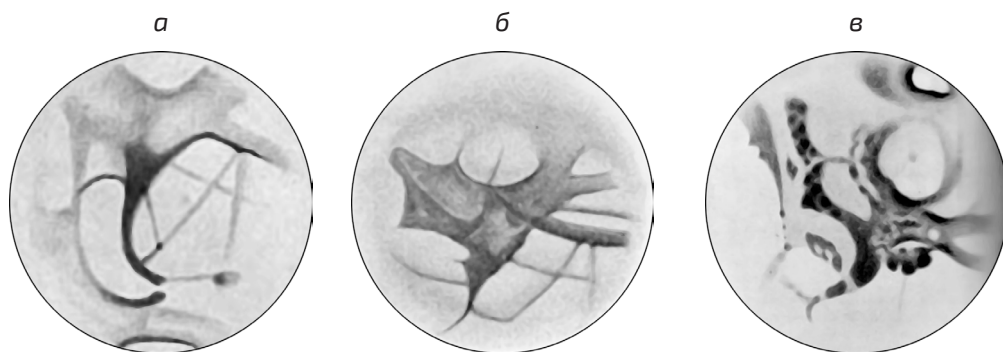


Персиваль Ловелл (1855–1916)

г. Флагстаффа (штат Аризона, на юго-западе США). Под его влиянием большинство американских астрономов-планетчиков едва ли не вплоть до начала космической эры в астрономии оставались его твердыми последователями в защите марсианских каналов. Первыми сторонниками Антониади стали американец Э. Барнард, а также итальянский астроном В. Черулли (1859–1927), одним из первых и сам запо-

дозривший иллюзорность картины марсианских каналов.

В своих наблюдениях Марса в 1909 и 1911 гг. Антониади обнаружил желтые облака, которые он связывал с временами года, отметив их перемещения. Он дал этим явлениям правильное объяснение, приписав их пыли, поднятой ветром. Судя по их изменениям, он пытался оценить их высоту (опубликовано в мемуарах Британской астрономической ассоциации за 1916 г.). В цитируемой здесь статье МакКима упоминается и то, что Антониади рассматривал также вопрос о марсианском вулканизме, хотя и весьма осторожно, добавляя: *«...но у нас нет никаких видимых признаков [этого], если не считать*



Зарисовки Марса: а – Дж. Скиапарелли, 1884 г.; б – П. Ловелла, 1894 г.; в – Э. Антониади, 1909 г.

частого пепельного вида красной земли *Deucalionis Regio* или желтой атмосферной дымки, что, во всяком случае, весьма загадочно» (с. 346). В противостояние 1924 г., вновь наблюдая в Медоне, Антониади сообщал, что он в течение нескольких дней фиксировал светящиеся выбросы на краю диска Марса над областью *Hellas*. Выбросы достигали высоты 8–20 км над поверхностью, что могло служить основанием для вывода о возможной и здесь вулканической деятельности. Рисунок, который он сделал 24 декабря 1924 г., когда пылевая буря распространилась по всем марсианским регионам, показывает область *Nodus Gordi* [Гордиев узел] как единственную четкую деталь на всем диске Марса. Ее действительно выявила в 1971 г. американская АМС «Маринер-9» (ЗиВ, 1973, № 5). В настоящее время известно, что это высочайший в Солнечной системе потухший вулкан Олимп высотой 24 100 м в горной области Тарсис (*Tharsis*), или Фарсида.

Антониади допускал, что на Марсе могут идти и орогенные (горообразовательные) процессы, хотя считал, что они должны оставаться ограниченными. В своей итоговой книге о Марсе он писал, что неправильные структуры на нем, пересекающие экваториальные моря в направлении север – юг, могут указывать на различия по высоте и бассейны древних рек (!).

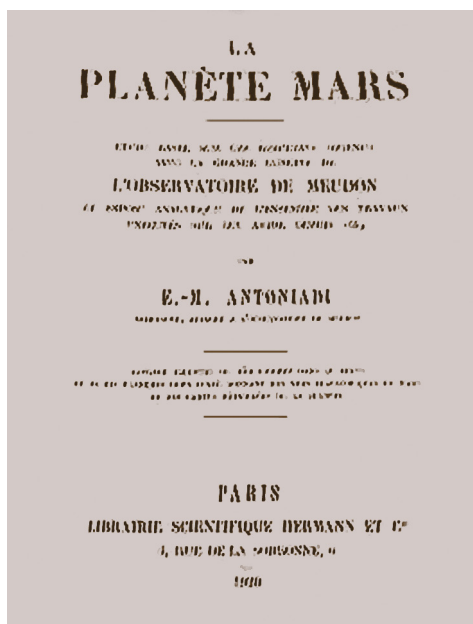
Большой телескоп в Медоне позволил Антониади наблюдать также и цвета деталей на Марсе. Он отметил их сезонные изменения, что привело его к мысли о возможности наличия там растительности. В Трудах (*Memoirs*) Британской астрономической ассоциации за 1911 г. Антониади опубликовал свое приложение: «Феномен марсианского года» – календарь марсианских явлений. (Независимо, тем же путем и к таким же выводам

пришел в эти годы пулковский астроном Г.А. Тихов в России; ЗиВ, 1975, № 6; 2003, № 3.) Возможность если не обитаемости Марса, то, по крайней мере, наличия растительности на нем допускалась и Фламмарионом. Еще в 1894–1895 гг. Фламмарион открыл более быстрое, чем для льдов на Земле, сезонное уменьшение (таяние) полярных шапок Марса. Антониади начиная с 1901 г. пытался выявить зависимость этого еще и от состояния солнечной активности, опубликовав результаты в 1916 г. (В 1914 и 1916 гг. Антониади в связи с ремонтом башни телескопа в Медоне наблюдал Марс с помощью своего личного 21,6-см телескопа.) Защищая свой приоритет в этом открытии, он в знак протеста против присуждения Королевским астрономическим обществом в 1921 г. приоритета Г.А. Тихову, опубликовавшему те же выводы раньше в Русском астрономическом журнале за 1912 г.¹⁰, даже вышел в 1923 г. из состава Королевского астрономического общества в Лондоне, ссылаясь на то, что публикация на русском языке в русском журнале была ему неизвестна. Впрочем, проблема приоритета отпала, поскольку, как пишет МакКим, дальнейшие исследования Марса не подтвердили такую зависимость (последнее представляется несколько странным, судя по существенному влиянию Солнечной активности на Землю. – А.Е.).

Итогом и вершиной исследований Марса Антониади стала его книга «Планета Марс», изданная в 1930 г. в Париже. В ней также описана и история изучения планеты с аналитическим изложением всех работ о Марсе с 1659 по 1929 гг.¹¹ Эту книгу можно было бы

¹⁰ Bull. Soc. Astron. Russ., 18, 1912, p. 243.

¹¹ См. R.A. Marriott, Eugene Michel Antoniadi // J. Br. Assoc. 101, 3, 1991. Historical Note, p. 195.



Титул книги Э. Антониади «Планета Марс», 1930 г.

рассматривать как своего рода завершение неоконченной трилогии о Марсе Фламмариона. Но интерпретация деталей на планете была в ней уже в корне иной.

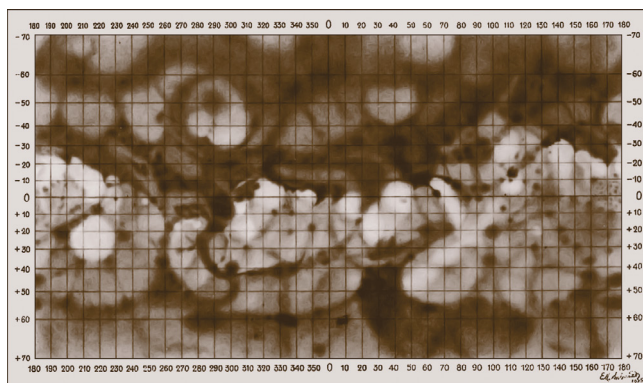
В трех разделах книги была представлена подробная карта планеты и предложены около 560 обозначений на ней, которые впоследствии стали основой при разработке современной номенклатуры деталей на поверхности Марса, принятой (правда, в более кратком виде из 128 наименований) Международным астрономическим союзом в 1958 г. на его 10-й Генеральной ассамблее в Москве. Новая большая планисфера Марса, выполненная Антониади в цвете, была представлена во «Дворце открытий» в Париже. О точности зарисовок Антониади говорит приведенное в статье МакКима сравнение двух отображений одного и того же участка поверхности Марса.

В книге «Планета Марс» Антониади подытожил результаты своих наблюдений, начатых в сентябре 1909 г.: «Никто никогда не видел настоящего канала на Марсе и, таким образом, “каналы” Скиапарелли, более или менее прямолинейные, одиночные или двойные, не существуют ни как каналы, ни как геометрические контуры; но они дают основание для создания [иллюзии] реальной картины: в месте расположения каждого из них поверхность планеты представляет собою либо неровный более или менее непрерывный и пятнистый след, либо зубчатый край сероватости (букв. – монотонности [монотонных сероватых участков?]), либо же изолированное, сложное озеро» (с. 28, en las – в смысле понижения, впадины: о жидкой воде на Марсе – сухой пустыне – Антониади, разумеется, как и другие, мысли не допускал). В другом месте он пояснял, что при напряжении глаз такие детали и могли сливаться в целостные вытянутые образования.

Наблюдения Антониади охватывали все планеты Солнечной системы (кроме Нептуна), а также Луну. МакКим отмечает, что на Юпитере он проанализировал эволюцию южного тропического возмущения в его атмосфере (S Trop D), а также, возможно, первым зарисовал пятна на его самом крупном галилеевом спутнике Ганимеде (1938) и на других (1939). Антониади проводил сравнительные (с Марсом) исследования поверхности Меркурия, сделав вывод о физических условиях на нем, якобы сходных с лунными и марсианскими. В 1934 г. вышла его книга «Планета Меркурий», оставшаяся в течение долгого времени классикой. В 1920-е и 1930-е гг. он обобщил все известные знания о Венере, наблюдением которой занимался еще в Жювизи вместе с Фламмарионом. Критически оценив все наблюдения прохождения Венеры по диску Солнца в 1874 г., они пришли тогда к заключению, что даже

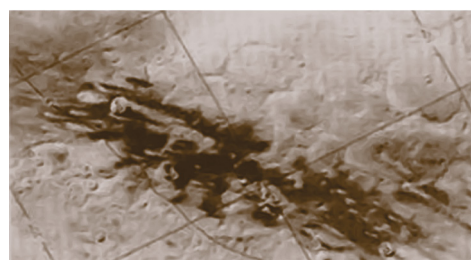
период вращения этой загадочной планеты все еще не удастся определить. Но если Фламарион допускал 24-часовые сутки и на Венере, то Антониади склонялся к правильному мнению о необычайно медленном осевом вращении планеты, хотя и не смог его измерить. В 1937 г. Антониади опубликовал в журнале Британской астрономической ассоциации свои наблюдения с очень точными зарисовками колец Сатурна, увиденными им в виде среза в 1936–1937 гг. Во внешнем кольце А он отметил и зарисовал радиальные промежутки (действительно обнаруженные 12–13 ноября 1980 г. на снимках АМС «Вояджер-1» (ЗиВ, 1981, № 2, с. 45–47) как «спицы», правда, в другом кольце – В). В большой статье Антониади обобщил все известные тогда знания о Сатурне. Местом публикаций его многочисленных статей были журналы L'Astronomie Фламариона и Британской астрономической ассоциации (Journal Br. Assoc.). Общий указатель публикаций в последнем за 1890–1940 гг. включает 59 работ Антониади (в самом журнале их было даже больше). Во время второй мировой войны он подготовил также библиографический указатель работ исследователей Солнечной системы, ныне хранящийся в Медоне.

В годы Второй мировой войны, оказавшись в оккупированном Париже, Антониади, несмотря на комендантский час, смог продолжить наблюдения в Медоне. Его последние рисунки Марса во время оппозиции 1941 г. свидетельствовали о его все еще сохранявшемся мастерстве. И лишь в 1943 г. Антониади полностью отошел от наблюдательной деятельности из-за ухудшавшегося

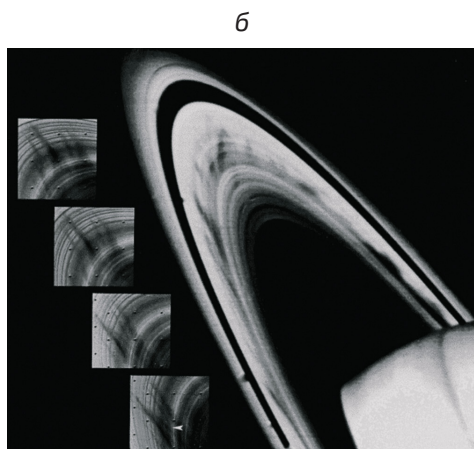
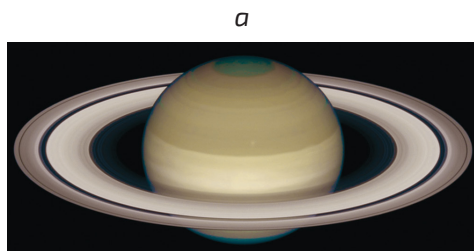


Планисфера экваториальной области Марса, составленная Э. Антониади после 1909 г. Из книги Антониади «Планета Марс», 1930 г.

здоровья и зрения, как вспоминал об этом в 1991 г. друживший некогда с ним известный французский астроном Ж. де Вокулёр. Еще в 1939 г. Ж. Фурнье



Два изображения фрагмента поверхности Марса: сверху – эскиз общего вида небольших пятен в районе Озера Титонуса (Tithonius Lacus), зарисовка Э. Антониади, 1909 г. (из письма П. Ловеллу); внизу – та же область по наблюдениям с орбитального аппарата АМС «Викинг-1» (Viking-1; 1976–1980 гг.). Из журнала L'Astronomie, V. 108, dec. 1994, p. 343



Сатурн: а – зарисовка Э. Антониади 18 апреля 1896 г.; б – «спицы» (темные полосы) в кольцах. Снимки получены в 1980 и 1981 гг. АМС «Вояджер-1» и «Вояджер-2», NASA/JPL

и Ж. де Вокулёром была создана в Британской астрономической ассоциации первая специальная комиссия по изучению Марса, и Антониади был избран ее почетным президентом.

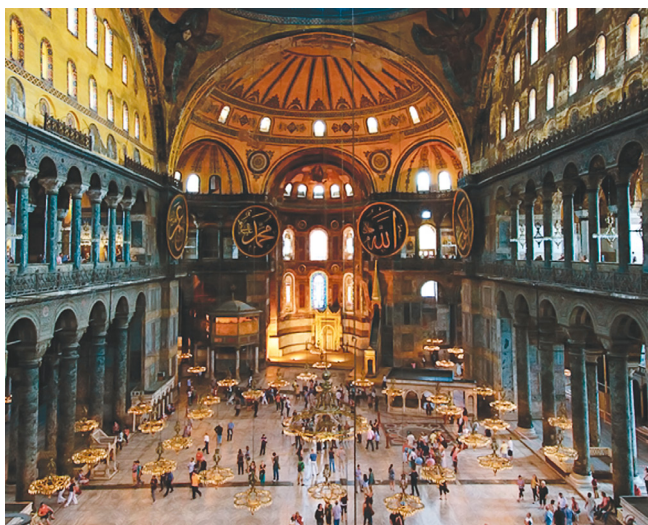
Наряду с наблюдениями поверхностей планет и спутников Антониади интересовался и закономерностями в их движении. Он традиционно пытался объяснять наблюдавшуюся синхронность в движении галилеевых спутников Юпитера и других спутников их приливным взаимодействием. Антониади восхищался открытием огромного числа спиральных туманностей, упоминая при этом Джорджа Ричи (1864–1945; выдающийся конструктор новой системы рефлекторов и изобретатель получал их вы-

сококачественные фотографии; ЗиВ, 2015, № 2). Антониади особенно высоко ценил его, как и другого американского астронома Э. Хейла (1868–1938), прежде всего как выдающихся представителей наблюдательной астрономии.

Антониади отличился и как историк науки, уточнив в результате изучения (в подлинниках!) древнегреческих текстов связь древнегреческой и египетской астрономии, а также найдя связь идей Коперника с работами Аристотеля, Платона и др. Свои историко-астрономические статьи он также печатал в журнале *L'Astronomie* и в последние годы жизни издал их отдельной книгой «Египетская Астрономия от самых отдаленных времен до конца Александрийской эпохи» (Париж, 1934). Уникальной (и единственной) его работой как архитектора (и археолога!) стало изучение в 1904 г. (впервые путем фотографирования, по специальному разрешению на это султана Абдул Хамид-хана II) внутреннего устройства собора Святой Софии в Константинополе (VI в. н. э., превращенного турками после завоевания Византии в 1453 г. в мечеть) и раскопок в его окрестностях. Об этой работе МакКим пишет, что Антониади «... за четыре с половиной месяца исполнил 1008 снимков и по крайней мере столько же рисунков Великой базилики». Все это было опубликовано в единственном его труде на греческом языке в 3-х томах «Атлас мечети Святой Софии» (1907). Антониади был известен также как шахматист. Потомства он не оставил. Намереваясь сначала (1901) завещать все 15 томов своих наблюдений и рисунков, в т. ч. около 2000 рисунков небесных тел, лондонскому Королевскому астрономическому обществу, Антониади, находясь в оккупированном Париже и потеряв с 1940 г. связь с английскими друзьями, как полагают, уничтожил все эти материалы. К сожалению, найти после его кончины их не удалось.

В последние месяцы жизни Антониади все еще вел еженедельные передачи по астрономии по радио Парижа. Всегда отличавшийся слабым здоровьем, он умер в больнице (вероятно, от инфаркта) 10 февраля 1944 г. Всего лишь полгода не дожил до освобождения Парижа от немцев (25 августа 1944 г.), в окончательную победу которых никогда не верил.

За свою научную деятельность Эжен Антониади получил в 1925 г. от астрономической коллегии Франции престижную премию имени Жансена, уникальную для астронома-любителя. Недаром на прощании с Антониади 14 февраля 1944 г. в православном храме на улице Жоржа Бизе его многолетний друг президент Французского астрономического общества Фернан Балдэ сказал о нем: *«Он никогда не был официальным государственным служащим обсерватории; всю свою жизнь он был любителем астрономии, в высшем смысле этого слова, ... которой он посвятил себя как священному служению»*¹². В 1927 г. Антониади был награжден высшим во Франции орденом Почетного легиона (в том числе и за особые услуги своей новой родине во время первой мировой войны, предположительно, за помощь в разведывательной деятельности как знаток многих языков). Он получил также две премии французской Академии



Внутренний вид собора Св. Софии, превращенного турками в мечеть. Современное фото

наук: им. Гусмана (1926) и им. Лакайля (1932). Имя Антониади увековечено в наименованиях кратеров на Марсе на окраине наибольшей пустынной равнины Большой Сирт, впервые отмеченной Скиапарелли, и на обратной стороне Луны ($\alpha = -173^\circ$, $\delta = -69^\circ$).

В заключение представляется уместным привести определение цели своей жизни самим Антониади. В письме 1913 г. к Эдварду Барнардю он написал: *«У меня нет других амбиций, кроме как отстаивать правду и не писать ничего, что можно было бы опровергнуть. Когда мы уверены, что наша работа останется, наше представление о небесных телах будет правильным, и мы с честью отдали кесарю то, что принадлежит кесарю, тогда мы можем покинуть этот мир с удовлетворением от выполненного долга»*.

¹² Е.-М. Antoniadi (1870–1944) // L'Astronomie. Revue mensuelle d'astronomie, de Météorologie et de Physique du Globe et Bulletin de la Société Astronomique de France. V. 58, 1944 avril, p. 58–59.

АСТРОНОМ-НАБЛЮДАТЕЛЬ Михаил Васильевич ЛЯПУНОВ

ПАКШИН Павел Владимирович,

доктор физико-математических наук

ПАКШИНА Наталья Алексеевна,

кандидат технических наук

Арзамасский политехнический институт (филиал) НГТУ им. Р.Е. Алексеева

DOI: 10.7868/50044394820050072

В 2020 году исполняется 200 лет со дня рождения Михаила Васильевича Ляпунова (30.09.1820–20.11.1868), русского астронома, преподавателя астрономии Казанского университета, директора Демидовского лицея в Ярославле. М.В. Ляпунов знаком большинству читателей как отец двух академиков: математика и механика Александра Михайловича Ляпунова (1857–1918) и лингвиста Бориса Михайловича Ляпунова (1862–1943), а также замечательного музыканта и композитора Сергея Михайловича Ляпунова (1859–1924).

Кто-то, возможно, слышал о нем в связи с его племянниками, известными казанскими химиками-органиками А.М., К.М. и М.М. Зайцевыми. Разрозненные сведения о Михаиле Васильевиче Ляпунове встречаются в книгах и многочисленных статьях о его внучатых племянниках: академике кораблестроителя А.Н. Крылове (1863–1945) и физико-химике профессоре В.А. Анри (1872–1940). И наконец, мы можем найти упоминания об этом человеке в жизнеописаниях его родственника – выдающегося математика, основоположника кибернетики в России А.А. Ляпунова (1911–1973).

Информация о М.В. Ляпунове сильно рассредоточена по разным источникам. К сожалению, книг о самом



Михаил Васильевич Ляпунов. Миниатюра. 1850-е гг.

Михаиле Васильевиче нет, хотя прожил он, пусть и короткую, но очень насыщенную интересными событиями жизнь. Не каждому посчастливилось иметь таких учителей, как знаменитые ученые: создатель неевклидовой геометрии Н.И. Лобачевский (1792–1856; ЗиВ, 1975, № 1; 2017, № 6), астроном и один из первооткрывателей Антарктиды И.М. Симонов (1794–1855), основатель звездной астрономии В.Я. Струве (1793–1864). Они были для него не

только наставниками и руководителями, но и людьми, с которыми он тесно сотрудничал. М.В. Ляпунову довелось заниматься с ними исследованиями, проводить наблюдения как в обсерваториях, так и в экспедициях. Однако, и в родственном окружении, и в науке Михаил Васильевич невольно оказался в тени великих.

Краткая биография М.В. Ляпунова впервые была опубликована в книге Н.П. Загоскина¹. В 1904 г. в части 1 «Биографического словаря профессоров и преподавателей Императорского Казанского университета (1804–1904)» появился значительно более полный вариант². Немного позже, в 1914 г., сведения о его жизни и деятельности были представлены в «Русском биографическом словаре»³. Приведем краткие сведения, касающиеся юности астронома, из книги Н.П. Загоскина за 1900 год, а далее попробуем дополнить вновь найденными документами.

«Ляпунов Михаил Васильевич, астроном-наблюдатель – Кандидат казанского университета выпуска 1839 г. В 1839–1840 гг. выполняет поручение по доставлению в Казань из С.Петербурга инструментов, изготовленных в Мюнхене для астрономической обсерватории университета. И.д. учителя мате-

матики в казанской второй гимназии (январь–октябрь. 1840 г.). 8 августа 1840 г. избран и 16 сент. Утвержден обсерватором (астрономом-наблюдателем) астрономической обсерватории казанского университета, на правах адъюнкта. Участвует в экспедиции, снаряженной в г. Пензу для наблюдения полного солнечного затмения 26 июня 1842 г. В 1843 г. сопровождает астрономические инструменты, пострадавшие в большом пожаре 24 августа 1842 г. и отправленные в пулковскую обсерваторию для их исправления».

М.В. Ляпунов – представитель древнего дворянского рода. Ляпуновы внесены в VI часть Дворянских родословных книг Московской, Рязанской, Калужской, Костромской и Нижегородской губерний, где представлены древние благородные дворянские роды. Следует сказать, что изучение родословия Ляпуновых – задача не из легких, ведь знаменитый род Ляпуновых очень многочисленный. Несмотря на то, что генеалогией этого рода занимались многие исследователи, до недавнего времени не были правильно названы даже имена дедушек и бабушек М.В. Ляпунова. Уточнение имен и дат заняли не один год. И лишь изучение архивных документов Центрального архива Нижегородской области (ЦАНО), а точнее, дел о внесении в Дворянскую родословную книгу Нижегородской губернии, позволили многое дополнить, а кое-что и исправить в родословной схеме⁴.

Предки Михаила Васильевича, начиная с его прадеда, находились преимущественно на статской службе. Дедушке по отцу звали Александром Михайловичем Ляпуновым, а женат он был на Марфе Васильевне Богородной – дочери подьячего. В этих документах можно найти сведения и о матери нашего

¹ Загоскин Н.П. Деятели Императорского Казанского университета. 1805–1900 гг. Казань, 1900. С. 83, 84.

² Грачёв М.А. Ляпунов Михаил Васильевич // Биографический словарь профессоров и преподавателей Императорского Казанского университета (1804–1904): в 2 ч. / Под ред. Н.П. Загоскина; Казан. ун-т. Ч. 1: Кафедра православного богословия, факультеты историко-филологический (с разрядом восточной словесности и лектурами) и физико-математический. 1904. С. 419–422.

³ Попов М. Ляпунов Михаил Васильевич // Русский биографический словарь. СПб.: Императорское русское Археологическое общество, 1914. С. 833–834.

⁴ ЦАНО. Ф. 639. Оп. 126. Д. 8790.



Фрагмент родословного дерева Ляпуновых

героя Анастасии Евсеевны⁵ и выяснить имена ее родителей. Дедом Михаила Васильевича (по матери) был казанский купец 3-й гильдии Евсей Алексеевич Александров, а бабушкой – Александра Петровна Александрова.

Ляпуновы служили в разных городах Поволжья, а летние месяцы семьи проводили, как правило, в деревне (или сельце, как пишут в ряде источников) Плетнихе, Нижегородской губернии. Находилась она приблизительно в 17 верстах от города Курмыш, недалеко от речки Курмышки, по которой и проходила граница Симбирской и Нижегородской губерний. Располагалась усадьба в живописном возвышенном месте, с которого открываются прекрасные панорамные виды. В 2019 г. авторам статьи посчастливилось побывать там. К сожалению, от имения и деревни сейчас практически ничего не осталось. Установить, где именно находился дом, помогла не только старая карта XIX в., но и произрастающие там по сей день кусты сирени и черемухи.

Имение Плетниха перешло Василию Александровичу Ляпунову от его отца Александра Михайловича, а если дословно: «...сельцо досталось от покойного родителя титулярного советника Александра Ляпунова»⁶. Здесь 30 сентября 1820 г. у Василия Александровича и Анастасии Евсеевны родился сын Михаил. Крестили мальчика в селе Исаково Алисановской волости Васильского уезда. Через некоторое время после рождения Миши семья обосновалась в Казани. На тот момент у Ляпуновых было уже четверо детей. Кроме Михаила, в семье росли: старшая сестра Александра, брат Виктор и сестра Наталья. Что привело их в Казань? Возможно, то, что именно в этом городе жили мама и брат Анастасии Евсеевны. Но главной причиной, видимо, была служба Василия Александровича.

С 10 апреля 1825 г. Василий Александрович Ляпунов начинает работать в Казанском университете бухгалтером. С Казанью будет связана вся его жизнь и жизнь семьи до самой смерти в 1847 г. За эти годы у Василия Александровича

⁵ ЦАНО. Ф. 639. Оп. 126. Д. 8791.

⁶ ЦАНО. Ф. 177. Оп. 766. Д. 5179



Первая Казанская гимназия. Художник В.С. Турин. 1834 г.

и Анастасии Евсеевны еще родились дети: сын Андрей, дочери Глафира, Марфа, Елизавета и Екатерина. Старшие сыновья Виктор и Михаил были отданы учиться в 1-ю Мужскую гимназию – одно из самых старых учебных заведений Казани, ей присвоили титул Императорской. Одним из первых ее учеников был поэт Гавриил Державин, позже там учились будущий великий геометр Николай Лобачевский, писатель Сергей Аксаков, живописец Иван Шишкин.

Как учился Миша Ляпунов? В документе о его успехах за период обучения в гимназии мы можем прочесть и данную ему характеристику:

« № 1. Увольнительное свидетельство

Своекоштного содержания ученик Михаил Ляпунов, 15 лет, из Дворян, сын Коллежского Советника Василия Ляпунова обучался в Казанской гимназии 5 лет.

Поведение:

В отношении к ученикам Ляпунов заслужил от всех общую любовь за свое скромное дружелюбное со всеми обхождение, в отношении к

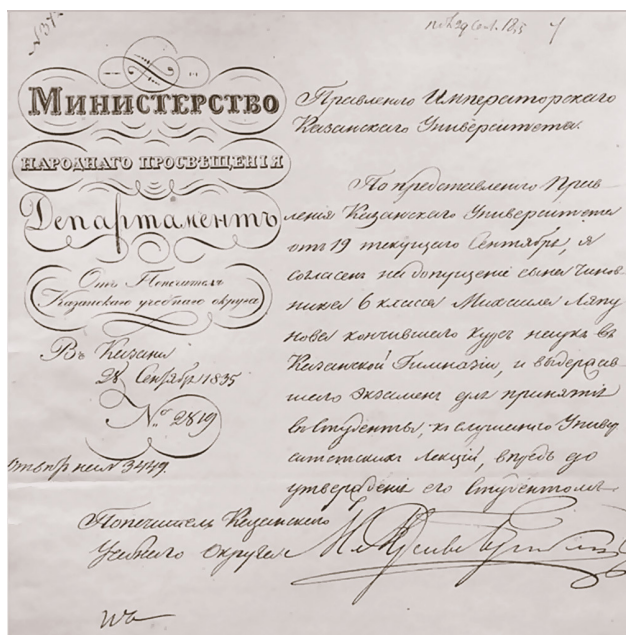
Начальству никогда не подавал повода быть им недовольным: был всегда прилежен, послушен, почтителен и исправен.

Познания:

Закону Божию, Математике и Логике учился с отличным успехом, Физике – с хорошим. Во всеобщей и российской Географии и Истории оказал хорошие успехи, особенно в первом предмете. В российской словесности оказал отличные успехи и составлял разные небольшие сочинения весьма успешно. Латинскому языку учился с отличным успехом и переводил из Корнелия Непота на русский язык хорошо. Французскому и Немецкому языкам учился с весьма хорошим успехом и переводил на отечественный язык из Телемаха и Хрестоматии Аллера хорошо. В рисовании успел хорошо. В удостоверении чего и дано сие свидетельство, за надлежащим подписанием и с приложением печати из Совета 1-й Казанской гимназии. Казань. Генваря 9 дня 1836 года.

Директор	Подпись
Секретарь Совета	Подпись
	Печать » ⁷ .

⁷ Национальный архив Республики Татарстан. Ф. 977. Оп. 2ЛД. Д. 180. Л. 14, 14 об.



Миша Ляпунов начал учиться в гимназии в 1829 г., а закончил в 1835 г. Для поступления в университет после окончания гимназии необходимо было выдержать вступительные экзамены. И тут возникли некоторые проблемы. Обратимся к архивным документам. Первый документ этого дела – прошение Василия Александровича Ляпунова от 16 августа 1835 г. на имя ректора университета. Приведем здесь фрагмент документа:

«Его высокородию

Господину Ректору
Императорского Казанского
Университета Ординарному
Профессору Статскому
Советнику и Кавалеру
Николаю Ивановичу Лобачевскому
От чиновника Шестого класса Василия
Александрова сына Ляпунова

Покорнейшее Прошение

Сын мой Михаил Ляпунов обучавшийся с 1829 года в Казанской Гимназии окончил курс наук в оной: а потому прошу Ваше Высокородие поручить учрежденному при университете Испытательному Комитету проэкзаменовать его ныне и буде окажется имеющим достаточные

Документ Министерства народного просвещения о решении М.Н. Мусина-Пушкина. Публикуется впервые. Национальный архив Республики Татарстан. Ф. 977. Оп. 2ЛД. Д. 180. Л. 7

познания позволить ему в наступающем академическом году слушать Профессорские лекции в физико-математическом факультете сего университета. Акт же о рождении его находится в Казанской Гимназии...»⁸

Следующий документ составлен кем-то из чиновников через месяц со времени подачи прошения, и из него мы можем

узнать, что «...определено: из дворян недоросль Михаил Ляпунов в настоящее время <...?> 15 лет от роду, а не достигших 16-летнего возраста молодых людей воспрещено принимать в Университет утвержденного Общего устава Императорских Российских университетов.

По журналу 17 Сентября 1835 года»⁹.

Оказывается, возникшая проблема была связана не с качеством полученного образования, а с возрастом. Положительное решение подписал Попечитель Казанского учебного округа М.Н. Мусин-Пушкин¹⁰.

Полноправным студентом Михаил стал только через год после начала занятий. Откуда следует, что в первый год обучения М.В. Ляпунов не имел привилегии на ношение красивого университетского мундира. Вольнослушатели, не имевшие права на мундир, ходили в университет в «партикулярном

⁸ Национальный архив Республики Татарстан. Ф. 977. Оп. 2ЛД. Д. 180, л. 1.

⁹ Там же, л. 6.

¹⁰ Там же, л. 7.



Императорский Казанский университет. Художник В.С. Турин. 1834 г.

платье», т. е. в штатском, неофициальном. В момент поступления его в университет срок обучения составлял три года, но, начиная с 1837 г., курс обучения был увеличен на один год для всех факультетов (4 года, а для медиков – 5 лет)¹¹.

На физико-математическом отделении Михаил Ляпунов учился у Н.И. Лобачевского и И.М. Симонова, под их руководством ему впоследствии пришлось работать в университете. Лобачевский читал студентам 2-го курса: интегрирование функций; студентам 3-го курса: интегрирование дифференциальных уравнений с одним переменным и студентам 4-го курса: интегрирование уравнений с частными производными и вариационное исчисление. И.М. Симонов – крупный специалист по земному магнетизму,

замечательный лектор и методист, длительный период он руководил обсерваторией, превратив ее в подлинный центр астрономических исследований. Это был первый русский астроном, совершивший кругосветное путешествие (1819–1821). Для студентов он издал первую часть задуманного обширного курса астрономии под звучным названием «Уранометрия»¹².

Учеба Михаила в университете по времени совпала с возведением университетского комплекса. Строительный комитет утвердили 23 мая 1833 г. под председательством Н.И. Лобачевского. Проектировал университетский комплекс известный архитектор Поволжья М.П. Коринфский¹³. В Министерстве народного просвещения и в Строительном комитете министерства внутренних дел проекты

¹¹ Михайловский А.И. Преподаватели, учившиеся и служившие в Императорском Казанском университете (1804–1904). Материалы для истории университета. Часть 1. Казань: Казанский университет, 1901. С. 4.

¹² Чистяков В.Д. Рассказы об астрономах. Минск: Вышэйша школа, 1969.

¹³ Пакишина Н.А. Александр Михайлович Ляпунов: родословная и детские годы. Нижний Новгород: НГТУ, 2015. С. 55.

одобрили. Лишь Николай I, который утверждал все значительные постройки во всех российских городах, объявил: «Согласен, кроме проекта обсерватории, который переделать правильнее, устроив кровлю наподобие Дерптской», при этом император прибавил к смете значительную сумму из государственного казначейства. Коринфский съезд в Дерпт (Тарту), ознакомился там с устройством крыши обсерватории и внес изменения в свой проект. В результате были построены здания астрономической и магнитной обсерватории, анатомического театра, клиники, здания физического кабинета и химической лаборатории, библиотеки.

Строительство проходило на глазах юного Михаила, поскольку семья Ляпуновых жила в это время в одном из зданий университетского комплекса¹⁴.

В 1839 г. после окончания курса Михаил Ляпунов был утвержден кандидатом 2-го отделения философского факультета с награждением серебряной медалью, на оборотной стороне которой, внутри лаврового венка, красовалась надпись: «преуспевшему»¹⁵. Хотелось бы обратить внимание читателей, что эту награду он получил «за создание лучшего сочинения», а в характеристике Ляпунова-гимназиста в «Увольнительном свидетельстве» стоит фраза «составлял разные небольшие сочинения весьма успешно». Наверное, это не случайное совпадение, а подтверждение наличия определенного литературного дара.

Какие события происходили в жизни выпускника университета Михаила Ляпунова? В ноябре 1839 г. он, по рекомендации профессора астрономии Симонова, командировается попечителем округа М.Н. Мусиным-Пушкиным

в Петербург для приема астрономических инструментов, изготовленных в Мюнхене для казанской обсерватории; за аккуратное исполнение получает благодарность попечителя¹⁶. Казалось бы, все способствовало тому, чтобы продолжить работать в университете. Но на тот момент свободных вакансий не оказалось, и с января по октябрь 1840 г. М.В. Ляпунову пришлось принять должность старшего учителя математики и физики в низших классах гимназии¹⁷.

Казанская обсерватория начала действовать в 1838 г., на год раньше Пулковской. В августе 1839 г. в ней был установлен телескоп. Это был самый восточный в Европе астрономический инструмент (в то время). В 1840 г. по инициативе профессора И.М. Симонова при университетской обсерватории была учреждена должность астронома-наблюдателя. М.В. Ляпунов 8 августа 1840 г. был избран и 16 сентября утвержден обсерватором (астрономом-наблюдателем) астрономической обсерватории Казанского университета, на правах адъюнкта¹⁸. Начался новый интересный и продуктивный период жизни двадцатилетнего Михаила.

В сентябре 1840 г. он начал работать в университетской обсерватории

¹⁴ СПбФ АРАН. Ф. 257. Оп. 3. Д. 33, л. 1 об.

¹⁵ Вишленкова Е.А. Символы Казанского университета // Высшее образование в России. 2004. № 10. С. 80–88.

¹⁶ Грачев М.А. Ляпунов Михаил Васильевич // Биографический словарь профессоров и преподавателей Императорского Казанского университета (1804–1904): в 2 ч. / Под ред. Н.П. Загоскина; Казан. ун-т. Ч. 1: Кафедра православного богословия, факультеты историко-филологический (с разрядом восточной словесности и лектурами) и физико-математический. 1904. С. 419–422.

¹⁷ Национальный архив Республики Татарстан. Ф. 977. Оп. 4. Д. 2366.

¹⁸ Загоскин Н.П. Деятели Императорского Казанского университета. 1805 г. – 1900 г. Казань, 1900. С. 83.



Вид на обсерваторию. К.П. Бегзов по рисунку И.П. Бессонова. 1842 г.

в этом качестве, вести наблюдения на меридианном круге, астрометрическом приборе, предназначенном для определения экваториальных координат светил¹⁹. Михаил Васильевич обрабатывал полученные в 1838–1840 гг. И.М. Симоновым наблюдения, на основании которых совместно с руководителем была написана работа на французском языке. Эта работа была опубликована в Казанском университете в 1842 г. и стала первой научной публикацией молодого ученого²⁰. Для нас это издание интересно еще и тем, что в нем имеются иллюстрации, благодаря которым

мы можем увидеть план и внешний вид обсерватории до страшного пожара 1842 г. Обсерваторией любовались жители Казани в середине XIX в., любуются ею и сейчас.

26 июня 1842 г. ожидалось полное солнечное затмение, которое явилось, по существу, первым затмением, наблюдавшимся на территории России в организованном порядке. Снарядили несколько экспедиций во главе с виднейшими астрономами и физиками того времени. Директор Пулковской обсерватории академик В.Я. Струве возглавил организацию наблюдений в России. По его плану провели четыре экспедиции для наблюдения полного затмения – в города Дубно, Чернигов, Липецк и Пензу²¹.

¹⁹ Пакшина Н.А. Александр Михайлович Ляпунов: родословная и детские годы. Нижний Новгород: НГТУ, 2015. С. 62.

²⁰ Simonoff, I.M., Lépounoff, M.V. Observations astronomiques, faites à l'Université Imperial de Kasan par Mr. Simonoff et par Mr. Lépounoff. Premier cahier, Kazan, Imprimerie de l'Université, 1842. (Астрономические наблюдения, сделанные в обсерватории Казанского Императорского университета. Книга первая).

²¹ Лобачевский Н.И. Полное затмение солнца в Пензе 26 июня 1842 года / Сочинения по математическому анализу, теории вероятностей, механике и астрономии / Полное собрание сочинений. Том 5. М.-Л.: Изд-во. Технико-теоретической литературы, 1951.

OBSERVATIONS

ASTRONOMIQUES FAITES A L'OBSERVATOIRE

DE L'UNIVERSITE IMPERIALE DE KAZAN

par Mr. SIMONOFF.

Conseiller d'Etat, Professeur émérite à l'Université Impériale de Kazan, Membre honoraire de l'Université Impériale de Kharkov, Correspondant de l'Académie Impériale des Sciences de Saint-Petersbourg, de l'Académie de Rome, Membre de la Société des naturalistes de Moscou et de plusieurs autres sociétés savantes et littéraires; Chevalier des Ordres de St. Vladimir de la 3^{me} et de Ste-Anne de la 2^{me} classe, décoré de la couronne Impériale

ET

par Mr. LÉPOUNOFF.

Astronome Observateur à l'Université Impériale de Kazan.

PREMIER CAHIER.

KAZAN.

IMPRIMERIE DE L'UNIVERSITE

—
1842

Титульный лист книги И.М. Симонова и М.В. Ляпунова
«Астрономические наблюдения, сделанные в обсерватории
Казанского Императорского университета. Книга первая».
Казань, 1842 г.

Для изучения этого редкого и интересного явления из Казанского университета в Пензу была снаряжена научная экспедиция во главе с Н.И. Лобачевским. В состав экспедиции вошли ординарный профессор физики и физической географии Э. А. Кнорр и астроном-наблюдатель М.В. Ляпунов. Почему ректор сам решил принять личное участие в этой экспедиции? Астрономия и астрономические наблюдения всегда интересовали Н.И. Лобачевского. Ученый наблюдал знаменитую комету 1811 г. и комету Энке 1832 г. Наряду с математическими дисциплинами, Н.И. Лобачевский читал лекции по астрономии в те годы, когда И.М. Симонов находился

в кругосветном плавании. В числе поехавших в Пензу И.М. Симонова не было, в это время он находился в заграничной командировке на съезде естествоиспытателей.

Участники экспедиции отправились в Пензу. По словам руководителя Н.И. Лобачевского: «Инструменты положены были для безопасности в отдельном устроенном нарочно возке: труба прохождений, ахроматическая труба, две малых ахроматических трубы, секстант с искусственным горизонтом, ... барометр, небесный глобус и хронометр Бреге с меткой (à pointage)...»²².

Михаил Васильевич с помощником и с необходимыми приборами поехали заблаговременно, 10 июня, тем более что путь был неблизким. Прибыли они на место только 15 июня. Н.И. Лобачевский

с Э.А. Кнорром выехали позже, 20 июня. Из отчета Н.И. Лобачевского мы можем узнать многие любопытные подробности этой экспедиции, приведем здесь отдельные фрагменты отчета:

«...Г. Ляпунов, прибыв 15 Июня в Пензу, выбрав удобное место для временной обсерватории, где и занимался предварительными наблюдениями для верной установки своих инструментов, а потом определением географического положения... Обсерватория была даже местом жительства для Г. Ляпунова»²³.

²² Там же, с. 434.

²³ Там же, с. 436.

Утром 26 июня участники экспедиции обнаружили, что погода испортилась. В период затмения все астрономические наблюдения делал М.В. Ляпунов с помощью большой Венской Ахроматической трубы и хронометра Бреге, принадлежащих Астрономической Обсерватории Казанского Университета. Он безотрывно находился возле инструментов и непрерывно был занят наблюдениями неба. Внимание же Лобачевского и Кнорра «обращено было на само явление, поистине великопное», они наблюдали за тем, что происходило вокруг.

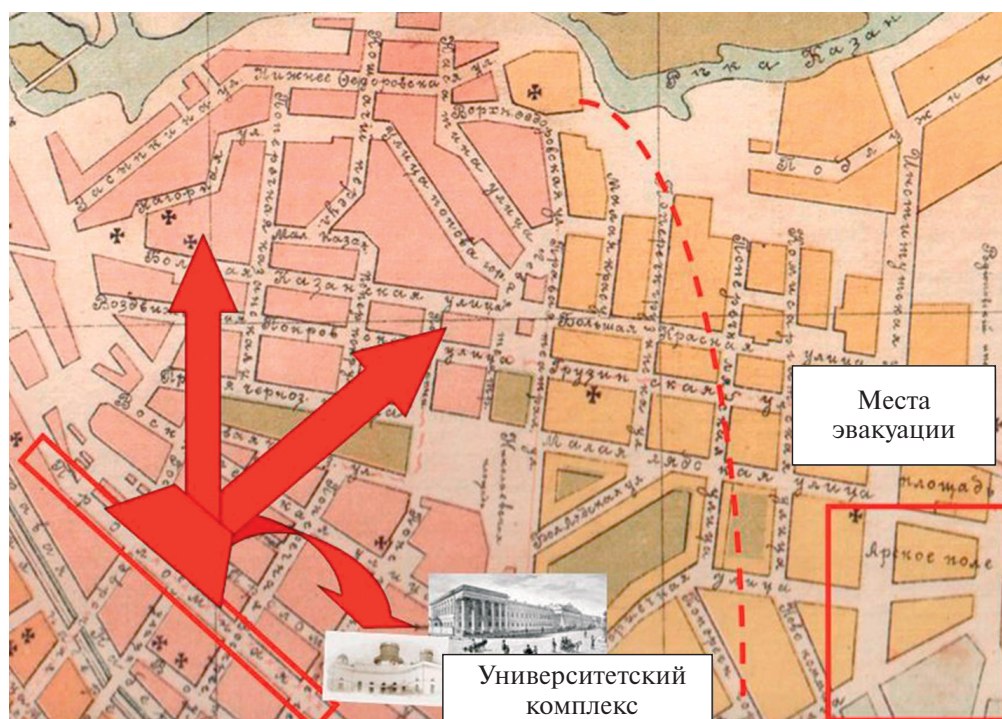
Тяжелым днем для университета, да и всех жителей города был день 24 августа 1842 г., когда сильный пожар уничтожил значительную часть Казани. Пожар унес и первые версии отчетов участников экспедиции.



Астроном-наблюдатель М.В. Ляпунов.
1840-е гг.

Пожар в Казани 24 августа 1842 г. Художник А.В. Ильин. 1842 г.





Схематичный план распространения пожара в Казани

Для большинства жителей Казани этот пожар принес волнения, материальные убытки, для кого-то разорение. Очень больно ударил он и по семье Ляпуновых. Совсем недавно было обнаружено письмо старшей сестры Михаила Ляпунова Александры, адресованное его крестной матери Е.И. Шипиловой, и написанное через две недели после трагических событий. Приведем отрывки из этого письма:

«8 сентября 1842 года. Казань.

...Сильный жестокий пожар лишил нас многого, но я не смею и жалеть о своих потерях: Господь показал нам особенное чудо, именно чудо своего милосердия, возвратив жизнь умирающему, нашему безумно дорогому Папеньке! 24 пожар заставил его идти через целый город, мы каждую минуту страшились за него, с трудом могли вести его, часто ему делалось дурно,

наконец, он совершенно изнемог, одна добрая женщина приютила нас в своей хижине и тут он лежал в самой сильной слабости, в страхе и беспокойстве о братьях, особенно о Мишеньке, который сильно работал на обсерватории, стараясь спасти ее; когда нам сказали, что обсерватория сгорела, мы все горько заплакали, нам казалось, что Мишеля нет уже на свете, мы думали, что он погиб, спасая инструменты; в самом деле, он был в большой опасности, когда почти уже вся обсерватория горела, он все еще был в самой верхней башне и развинчивал рефрактор, кругом его был огонь, уже брат Виктор прибежал и спас его, даже платье их и волосы были опалены.

Вечером уже мы увиделись с ними, и первое чувство наше при свидании была радость, они радовались, видя Папеньку еще в живых, мы успокоились за

них и с этого дня Папеньке начало делаться лучше и лучше...»²⁴

Это письмо проливает свет на многие неизвестные ранее подробности. Тот факт, что Василий Александрович Ляпунов с домочадцами провел эту страшную ночь на Арском поле, общеизвестен. Но то, с какими трудностями они туда добирались и то, что и старший брат Михаила Виктор Васильевич Ляпунов тоже был в Казани и принимал самое деятельное участие в спасении от огня астрономических инструментов и самого Михаила, эти сведения нигде ранее не были опубликованы.

Большой пожар 1842 г. не пощадил многие здания Казани (жертвою огня сделались 1309 домов и 9 церквей). Не миновала печальная участь и здания обсерватории. Михаил Васильевич весь этот страшный день и ночь провел здесь, героически пытаясь спасти оборудование, астрономические приборы²⁵. Тем не менее многие из инструментов оказались поврежденными, в том числе новый экваториал. И так сложилось, что хлопоты и ответственность за восстановление инструментов легли практически полностью на М.В. Ляпунова. Молодой ученый отправился с этими инструментами в Пулково 22 февраля 1843 г., где и оставался до лета 1845 г., пока восстанавливались инструменты. Там он работал под непосредственным руководством выдающегося астронома В.Я. Струве.

За два года, проведенные в Пулкове, Михаил Васильевич принял участие

в двух хронометрических экспедициях. Со времени возвращения в Казань начиналась его наиболее плодотворная деятельность.

М.В. Ляпунов проводит первые систематические наблюдения: определяет положение звезд, наблюдает за появлением комет, движениями планет, покрытием Юпитера Луною и другими астрономическими явлениями. Но главным направлением исследований астронома-наблюдателя М.В. Ляпунова было определение мест звезд туманности Ориона. К выполнению работы по этой тематике Михаил Васильевич приступил по рекомендации О.В. Струве. Следует заметить, что наблюдения над этой туманностью возможно производить только зимою, при низких температурах. Наблюдения проводились в 1845–1849 гг. с помощью 9-дюймового рефрактора Фраунгофера. Эта главная работа М.В. Ляпунова была напечатана в 4-м томе «Мемуаров С.-Петербургской академии наук». Результаты исследований опубликованы в соавторстве с О. Струве²⁶.

Результаты своих работ Михаил Васильевич публикует также в немецком журнале «Mathematische Nachrichten» за 1846–1851 гг. Эти статьи сыграли большую роль в научном признании деятельности Казанской обсерватории.

С июня 1850 г. М.В. Ляпунов назначается заведующим обсерваторией и руководителем студентов в практических занятиях астрономией, с увеличением содержания наравне с экстраординарными профессорами. Однако вскоре, 13 января 1855 г., он пишет заявление об отставке. В это время ему

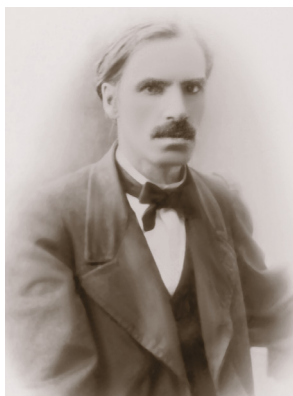
²⁴ СПбФ АРАН. Ф. 257. Оп. 3. Д. 33. Л. 1–2 об.

²⁵ 200 лет казанской астрономии (часть 3) // Казанский федеральный университет: [сайт]. URL: <https://kpfu.ru/physics/struktura/kafedry/otdelenie-astrofiziki-i-kosmicheskoi-geodezii/httpskpfu.ru/main-pagep-sub5769p-view1/200-let-kazanskoj-astronomii-3> (дата обращения: 17.11.2019).

²⁶ O. Struve et Liapounov. Observations de la nébuleuse d'Orion, faites á Cazanet á Poulkova. (Наблюдения большой туманности Ориона, сделанные в Казани и Пулкове г-ном Ляпуновым и О. Струве.)

было только 34 года. Михаил Васильевич прослужил в обсерватории почти 15 лет, возможно поэтому его зрение сильно ухудшилось, сказались многолетние ночные астрономические наблюдения. Но не исключено, что главной причиной была наследственная болезнь глаз, которой страдали его отец и дед, ослепшие почти полностью. Этим недугом будет страдать и его старший сын академик Александр Михайлович Ляпунов.

Начиная с 1856 по 1864 г. М.В. Ляпунов работал директором Демидовского лицея в Ярославле. Потом он вышел в окончательную отставку и вернулся



Последний фотопортрет М.В. Ляпунова. Из архива Л.Н. Сретенского // АРАН. Ф. 1832. Оп. 1. Д. 31. Л. 3

в родные края, где занимался воспитанием и обучением своих сыновей. Михаил Васильевич собрал богатую библиотеку, которая хранилась вплоть до 1917 г. в построенном им доме и, к сожалению, была утрачена.

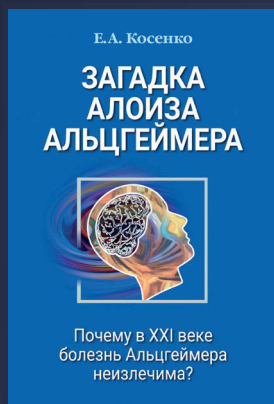
М.В. Ляпунов умер скоропостижно 20 ноября 1868 г. в возрасте всего 48 лет, был похоронен возле Троицкой церкви села Болобонова, Курмышского уезда, Симбирской губернии.

Выражаем искреннюю благодарность Е.Ю. Аникиной за предоставленную возможность познакомиться с письмом А.В. и М.В. Ляпуновых.



Троицкая церковь села Болобоново, где венчался и возле которой был похоронен М.В. Ляпунов. Фотография получена от супругов Е.А. и Е.А. Корнишиных

С новыми книгами
Издательства “Наука”
вы можете ознакомиться на сайте
naukabooks.ru



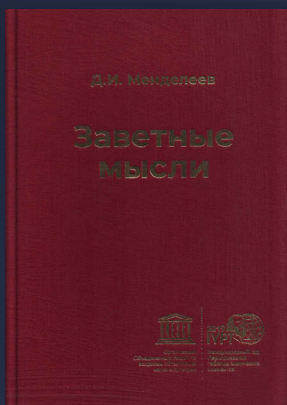
Косенко Е.А.

Загадка Алоиза Альцгеймера. Почему в XXI в. болезнь Альцгеймера неизлечима?

М.: Наука, 2019. — 319 с.

В монографии изложена актуальнейшая на сегодняшний день медико-биологическая проблема, связанная с болезнью Альцгеймера (БА), и предпринята попытка ответить на вопрос: почему заболевание, известное с начала XX в. и на изучение которого тратятся триллионы долларов, в настоящее время все еще остается неизлечимым, а имеющиеся антиамилоидные препараты приносят больше вреда, чем пользы? Для объяснения механизмов, лежащих в основе нейродегенерации при БА, формулируется «эритроцитарная гипотеза», согласно которой эритроциты рассматриваются не просто как клетки, переносящие кислород, а как клетки, от эндогенного метаболизма которых зависит адекватная доставка кислорода в ткани, и в частности в мозг. Именно функциональное несоответствие между эритроцитами и биоэнергетикой мозга, считает автор, лежит в основе гибели нейронов.

Книга может быть интересна широкому кругу читателей – студентам, обучающимся по специальностям «биология», «биомедицина», а также физиологам, биохимикам научно-исследовательских лабораторий, преподавателям высших образовательных медицинских и биологических учреждений.



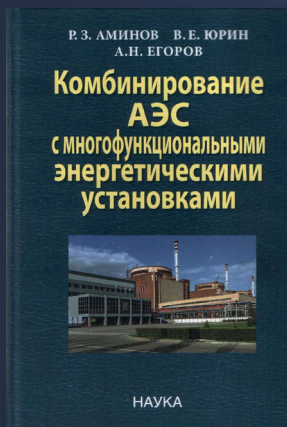
Менделеев Д.И.

Заветные мысли.

М.: Наука, 2019. — 310 с.

Д.И. Менделеев в работе «Заветные мысли» рассуждает о желательных, на его взгляд, путях развития России в геополитической, экономической и научной областях. Круг анализируемых ученым вопросов чрезвычайно широк: государственное устройство, образование, народонаселение, внешняя торговля, взаимосвязь между просвещением и национальным богатством, баланс между промышленностью и сельским хозяйством и т.д. По существу, «Заветные мысли» – духовное завещание Д.И. Менделеева потомкам.

Для широкого круга читателей.



Аминов Р.З., Юрин В.Е., Егоров А.Н.

Комбинирование АЭС с многофункциональными энергетическими установками.

М.: Наука, 2018. — 238 с.

В работе предложен новый взгляд на повышение безопасности АЭС. Разработаны и исследованы многофункциональные системы, включающие такие установки, как дополнительная паровая турбина, тепловые аккумуляторы, водородный комплекс и газотурбинные установки, позволяющие обеспечить надежное электроснабжение собственных нужд АЭС в аварийных ситуациях с обесточиванием. Исследован способ использования остаточного тепловыделения реакторов типа ВВЭР для генерации электроэнергии, необходимой для отвода остаточного тепловыделения в аварийных ситуациях с полным обесточиванием. Разработана система уравнений и построены скелетные таблицы свойств диссоциированного водяного пара, которые позволяют проводить промышленные термодинамические расчеты параметров рабочего тела водородных циклов. Исследованы процессы сжигания водорода в кислородной среде, а также определены ресурсные показатели основного оборудования водородного энергокомплекса, работающего в циклических режимах.

Для научных работников, специалистов, аспирантов, студентов старших курсов теплоэнергетических специальностей.

naukabooks.ru

ПЕРВЫЕ СОВЕТСКИЕ НАУЧНЫЕ ЭКСПЕРИМЕНТЫ НА ЛУНЕ

К 50-летию посадки на Луну «Лунохода-1»

ВЕДЕШИН Леонид Александрович,

доктор технических наук

Институт космических исследований РАН

ГЕРАСЮТИН Сергей Александрович,

Мемориальный музей космонавтики

DOI: 10.7868/50044394820050084

10 ноября 1970 г. впервые в мире на Луну был отправлен советский управляемый самоходный аппарат «Луноход-1». Космическая станция «Луна-17» благополучно доставила аппарат на поверхность Луны, где он был высажен в районе Моря Дождей.

Мобильная лаборатория «Луноход-1» на протяжении 335 сут (или 11 лунных дней) успешно работала на Луне, прошла 10.6 км, преодолевая холмы и долины, пересекла множество кратеров, перенесла испытания холодом лунной ночи при температуре -150°C и жарой лунного полдня при $+100^{\circ}\text{C}$, передавая ценные научные результаты на Землю.

Запуск в СССР 4 октября 1957 г. первого искусственного спутника Земли (ИСЗ) положил начало полетам автоматических межпланетных станций к Луне, Венере, Марсу и предоставил возможность ученым и специалистам научных учреждений АН СССР начать всесторонние исследования этих небесных тел. Выдающаяся роль в организации этих исследований в 1958–1976 гг. принадлежит академикам С.П. Королёву, М.В. Келдышу, А.П. Виноградову, Г.И. Петрову, Р.З. Сагдееву, членам-

корреспондентам АН СССР Г.Н. Бабакину, К.Д. Бушуеву, С.С. Крюкову, В.М. Ковтуненко и др. (ЗиВ, 2007, № 1; 2011, № 1; 2012, № 5; 2018, № 6; 2001, № 6).

После запуска первого спутника Главный конструктор С.П. Королёв



Академики М.В. Келдыш и С.П. Королёв. 1963 г.
Фото А. Устинова. РГАНТД. Ф. 211. Оп. 7. Д. 611

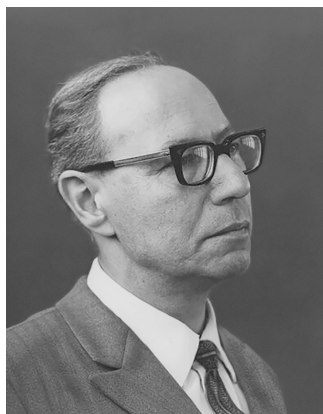


Академик А.П. Виноградов. 1960-е гг.

и его заместитель М.К. Тихонравов в январе 1958 г. обратились в Правительство СССР с предложением о проведении работ по посадке космической станции на Луну и получению фотографий ее обратной стороны. Эту инициативу первым поддержал академик М.В. Келдыш. 20 марта 1958 г. проект лунной программы был одобрен Правительством. 10 декабря 1959 г. вышло Постановление ЦК КПСС и Совета министров «О развитии исследований по космическому пространству», которое имело большое значение для проведения научных экспериментов по изучению Луны и планет Солнечной системы. В Постановлении среди основных направлений по изучению космического пространства были выделены как первостепенные – работы по созданию автоматической научной станции на Луне (или в ее районе) для исследований физических свойств земного спутника и возможного наличия на нем жизни, передачи данных на Землю, а также разработки ракет-носителей

для запуска автоматических межпланетных станций (АМС). При АН СССР был организован «Научно-технический совет по космическим исследованиям», который возглавил академик М.В. Келдыш, его заместителями стали С.П. Королёв и К.Д. Бушуев. В Совет вошли видные ученые и главные конструкторы ракетно-космических систем. В составе Совета были созданы секции по различным научным направлениям. На секции по изучению Луны и планет, руководимой академиком А.П. Виноградовым, обсуждались научные программы исследований и полученные данные полетов. Это дало Александру Павловичу возможность проверить многие теоретические и гипотетические экспериментальные основы, вопросы природы эволюции Луны (ЗиВ, 1976, № 3). В результате совместно со специалистами ОКБ-1 и ОКБ-301 (ныне НПО им. С.А. Лавочкина; ЗиВ, 1997, № 4) была разработана долгосрочная программа космических исследований Луны и планет, которая актуальна и в наши дни. Работы, связанные с разработкой и реализацией программы освоения Луны, Венеры и Марса в 1960-е – 1990-е гг. – были строго засекречены. Особенно это касалось создания ракет-носителей, межпланетных станций, сроков их запуска и полученных результатов. Лишь спустя много лет был открыт доступ к данным историческим материалам, в т. ч. к документам по лунной программе.

Большой интерес к участию в лунной программе проявили руководители ряда Институтов и лабораторий АН СССР: академики А.П. Виноградов, С.Н. Вернов, А.А. Благонравов, А.И. Берг, А.Л. Минц, член-корреспондент АН СССР Г.А. Гамбургцев, профессора Д.Я. Мартынов, В.И. Красовский и другие видные ученые. Научные сотрудники этих организаций: К.П. Флоренский, К.И. Грингауз (ИКИ АН СССР),



а



б



в

Научные сотрудники – участники лунной программы: а – профессор К.П. Флоренский. 1971 г.; б – профессор Ю.Н. Липский. 1960-е гг.; в – член-корреспондент РАН Э.Л. Аким. 1970-е гг.

А.Т. Базилевский, Г.А. Бурба, Т.Н. Назарова (ГЕОХИ АН СССР), А.Е. Чудаков (НИИЯФ МГУ), П.В. Вакулов (ФИАН), П.П. Флёров (Лаборатория измерительных приборов АН СССР), Б.А. Миртов (Институт прикладной геофизики АН СССР), Ю.Н. Липский, В.Г. Курт, В.В. Шевченко (ГАИШ МГУ), Э.Л. Аким, Т.М. Энеев (Институт прикладной математики АН СССР) – приняли активное участие в исследованиях по этой программе. Они неоднократно встречались с С.П. Королёвым и его помощниками К.П. Бушуевым, М.К. Тихонравовым, С.С. Крюковым, Г.Ю. Максимовым и др., которые разрабатывали первые лунные станции. Во время этих совещаний обсуждались программы космических экспериментов и требования к научной аппаратуре. Большую роль в становлении научных исследований сыграл С.П. Королёв. По воспоминаниям участников встреч, известных ученых К.И. Грингауза, Т.Н. Назаровой, А.Е. Чудакова, Б.А. Миртова, Э.Л. Акина и др., с которыми мне пришлось работать в разные годы по программе «Интеркосмос», в 1966–1991 гг. Сергей Павлович всегда с большой охо-

той шел навстречу пожеланиям экспериментаторов, обсуждал и анализировал вместе с учеными полученные результаты и неудачи на первых лунных станциях по программам Е-1, Е-2 и Е-6 (ЗиВ, 1999, № 6; 2006, № 2; 2009, № 4; 2019, № 6). Некоторые научные приборы, созданные для экспериментов в 1949–1958 гг. на геофизических ракетах и первых ИСЗ были быстро доработаны и успешно использовались в лунных экспедициях.

После завершения программы создания лунных посадочных и орбитальных станций второго поколения КБ НПО им. С.А. Лавочкина под руководством главного конструктора Г.Н. Бабакина начало разработку новых многофункциональных конструкций тяжелых АМС третьего поколения массой 5500–5800 кг (1969–1976), рассчитанных на выполнение мягкой посадки на Луну, доставки луноходов, автоматической системы взятия проб грунта и возвращаемого аппарата для доставки образцов на Землю (ЗиВ, 2004, № 6). Предприятием было изготовлено 16 модификаций лунных станций (6 потерпели аварии или остались на орбите ИСЗ),

которые запускались ракетой-носителем «Протон-К» с разгонным блоком «Д». Начиная с полета «Луны-15» в июле 1969 г. и до завершения лунной программы в августе 1976 г. доставкой лунного грунта «Луной-24», научное обеспечение полетов лунных аппаратов велось Отделом Луны и планет ИКИ АН СССР. Отдел готовил к каждому полету соответствующую программу экспериментов и всю необходимую научно-техническую документацию, связанную с выбором места посадки станции. Это было важно при планировании экспериментов на посадочных станциях и луноходах, в том числе для выдачи селенодезических данных для управления аппаратом при сходе с окололунной орбиты и мягкой посадке. Для точного определения места посадки станции ученые Отдела Луны и планет ИКИ РАН совместно со специалистами ИПМ АН СССР и КБ НПО им. С.А. Лавочкина разработали методику определения координат АМС после посадки. Она впервые была при-



Главный конструктор
НПО им. С.А. Лавочкина
Г.Н. Бабакин

менена при определении места посадки «Лунохода-2» и использовалась в последующих полетах лунных станций, в результате точность места посадки достигала нескольких метров. Учеными этого отдела также готовилась картографическая документация.

До передачи документации на создание нового поколения лунных станций в НПО им. С.А. Лавочкина в 1966 г. специалисты ОКБ-1 уже разрабатывали с 1965 г. проект Е-8 по соз-

данию лунохода – дополнение к пилотируемым программам Л-1 и Л-3 (ЗиВ, 1993, № 4). В 1966 г. проект Е-8 был включен в программу поддержки работы советских космонавтов при посадке на Луну. Эта программа предусматривала провести разведку и подтвердить безопасность выбора района посадки космического аппарата, прочность грунта и его надежность при посадке и взлете, а также надежность работы радиомаяка и других систем.

Созданием шасси лунохода занимался ВНИИТрансмаш под руководством главного конструктора А.Л. Кемурджиана. Два лунохода доставлялись на Луну с помощью посадочной платформы – модуля с откидывающимися складывающимися трапами для съезда лунохода на поверхность Луны. Модуль массой 4800 кг обеспечивал перелет по трассе Земля–Луна, включая коррекции траектории, выход на орбиту искусственного спутника Луны, формирование предпо-

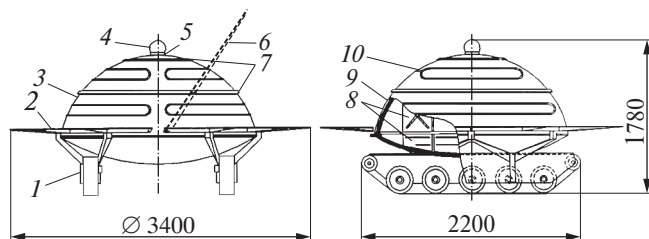
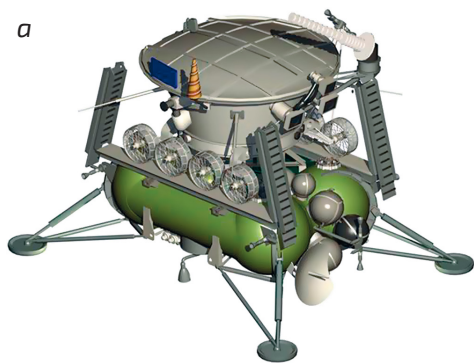


Схема устройства одного из вариантов лунохода, разработанного в ОКБ-1: 1 – шасси; 2 – панель солнечной батареи; 3 – приборный контейнер; 4 – астрокупол; 5 – датчик положения Земли; 6 – положение панели солнечной батареи при низком Солнце; 7 – щелевая антенна; 8 – приборы бортовой автоматики; 9 – тепловой экран; 10 – радиационная поверхность системы терморегулирования



АМС «Луна-17» («Луноход-1») на унифицированной посадочной платформе – модуле:
а – схематическое изображение,
б – в цехе НПО им. С.А. Лавочкина. 1970 г.



дочной окололунной орбиты, сход с орбиты и посадку на лунную поверхность. Он состоял из корректирующе-тормозного двигателя КТДУ-417 с регулируемой тягой и блока двигателей малой тяги с номинальной тягой 280 кг, суммарная тяга двигателя могла изменяться в пределах 1929–750 кг. Основу конструкции модуля составляли четыре сферических топливных бака, соединенных между собой цилиндрическими проставками, две из которых были приборными отсеками для размещения аппаратуры системы управления перелетом и посадкой, топливо размещалось еще и в баках сбрасываемых отсеков. Модуль оснащался четырьмя посадочными амортизирующими устройствами в виде опор.

Первая попытка запуска лунохода была предпринята 19 февраля 1969 г.,

но на 53-й секунде полета произошла авария РН «Протон-К». 10 ноября 1970 г. состоялся успешный запуск АМС «Луна-17» массой 5700 кг, которая 17 ноября осуществила мягкую посадку в Море Дождей в районе с координатами: $38^{\circ}14'16''$ с. ш. и $35^{\circ}00'06''$ з. д. (ЗиВ, 1971, № 3; 1972, № 2). Впервые в мире на поверхность Луны был высажен автоматический самоходный аппарат массой 756 кг, длиной (с открытой крышкой с солнечной батареей) 4.42 м, шириной 2.15 м, высотой 1.92 м. Максимальная скорость движения аппарата составляла 2 км/ч.



Старт ракеты-носителя «Протон-К» с разгонным блоком «Д». Фото С. Казак. Фотохроника ТАСС

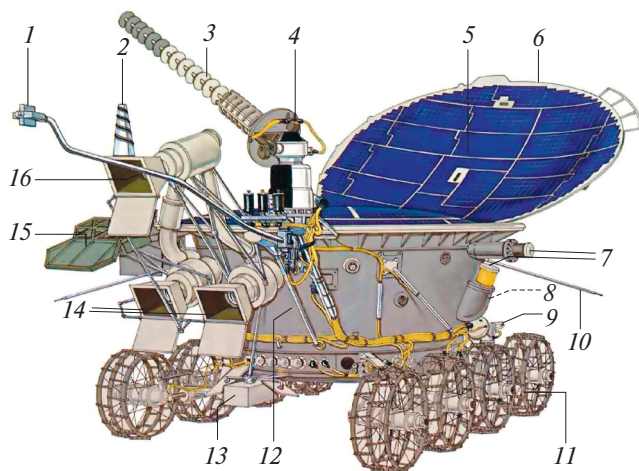


Схема устройства самоходного аппарата «Луноход-2» (у «Лунохода-1» другие телекамеры): 1 – магнитометр, 2 – малонаправленная радиоантенна, 3 – остронаправленная радиоантенна, 4 – механизм наведения антенны, 5 – солнечная батарея, 6 – откидная крышка (закрыта во время передвижения и в период лунной ночи), 7 – панорамные телефотокамеры горизонтального и вертикального обзора, 8 – изотопный источник тепловой энергии с отражателем и девятое колесо для измерения пройденного пути (в задней части аппарата), 9 – грунтозаборное устройство (в сложенном положении), 10 – штыревая радиоантенна, 11 – мотор-колесо, 12 – герметичный приборный отсек, 13 – анализатор химического состава грунта (рентгеновский спектрометр) в сложенном положении, 14 – стереоскопическая пара телевизионных камер с блендами и противопылевыми крышками, 15 – оптический уголкового отражатель (Франция), 16 – телекамера с блендой и противопылевой крышкой

«Луноход-1» состоял из двух основных частей: герметичного приборного отсека с научной аппаратурой и самоходного шасси из восьми колес с моторами в ступицах диаметром 51 см и шириной 20 см, ширина колеи – 1.6 м, каждое

было ведущим. В состав самоходного шасси входил прибор оценки проходимости, он состоял из мерного (девятого) колеса и механизмов для внедрения и поворота в грунте штампа, позволяющего получить информацию о физико-механических свойствах лунного грунта. С помощью мерного колеса определялся пройденный путь. Поддержание температуры лунной ночью обеспечивалось расположенным на

задней части приборного отсека радиоизотопным источником тепла ВЗ-Р70-4 с начальной тепловой мощностью 150–170 Вт, которая выделялась изотопом полоний-210. Солнечная батарея для снабжения аппарата электроэнергией была установлена на внутренней стороне откидывающейся крышки герметичного отсека. По бокам корпуса были укреплены четыре штыревые антенны, неподвижная малонаправленная и поворачивающаяся остронаправленная антенны, поддерживающие связь с Землей и передающие информацию.

Спустя 50 лет поражают технические возможности советских ученых и специалистов, создавших робот, который соответствует современному беспилотному электромобилю. На борту «Лунохода-1» в герметичном контейнере был установлен набор научной аппаратуры: две фотокамеры для получения изображений (расположены в передней части корпуса) и две пары панорамных телефотометров для навигации (по бокам корпуса), приборы для измерения скорости движения и для определения механического состава лунного грунта, рентгеновский флуоресцентный спектрометр РИФМА для изучения химического состава грунта, детекторы космических лучей, рентгеновский телескоп

РТ-1 для солнечных и внегалактических наблюдений, советско-французский оптический лазерный уголкового отражатель, радиометр РВ-2Н для измерения окружающей радиации. Панорамные изображения и съемки участков звездного неба, Солнца и Земли, необходимых для астроориентации лунохода, производились с помощью фототелевизионной системы с панорамной разверткой, состоящей из четырех камер.

Управление луноходом велось дистанционно из Центра космической связи, находящегося под Симферополем, с помощью наземного комплекса «Сатурн-МС». С этой целью был сформирован экипаж, работающий в две смены по пять человек в каждой: командир, водитель, бортинженер, штурман и оператор остронаправленной антенны (ЗиВ, 2005, № 2). Центральное место на пульте управления занимало видеоконтрольное устройство, на которое транслировалась информация с телекамер лунохода. Задержка радиосигнала, вызванная большим расстоянием от Земли до Луны, составляла 4.1 с. Изображение на экране обновлялось один раз в 20 с, и «Луноход-1» успевал пройти 6 м, прежде чем операторы получали новое изображение. Водитель управлял движением лунохода с помощью пульта, на котором указывались параметры, характеризующие положение аппарата на лунной поверхности. Оператор постоянно следил за ориен-



Макет самоходного аппарата «Луноход-1» в экспозиции Мемориального музея космонавтики

тацией остронаправленной антенны на Землю и в случае необходимости изменял ее положение. Штурман проводил навигационные расчеты по телеметрическим данным курсового гироскопа и датчика пройденного пути, вырабатывал рекомендации по направлению и характеру движения лунохода. Бортинженер возглавлял группу специалистов оперативного анализа телеметрической информации всех систем лунохода, регулярно докладывая об этом по громкой связи. Командир осуществлял общее руководство работой, контролировал действия водителя и принимал

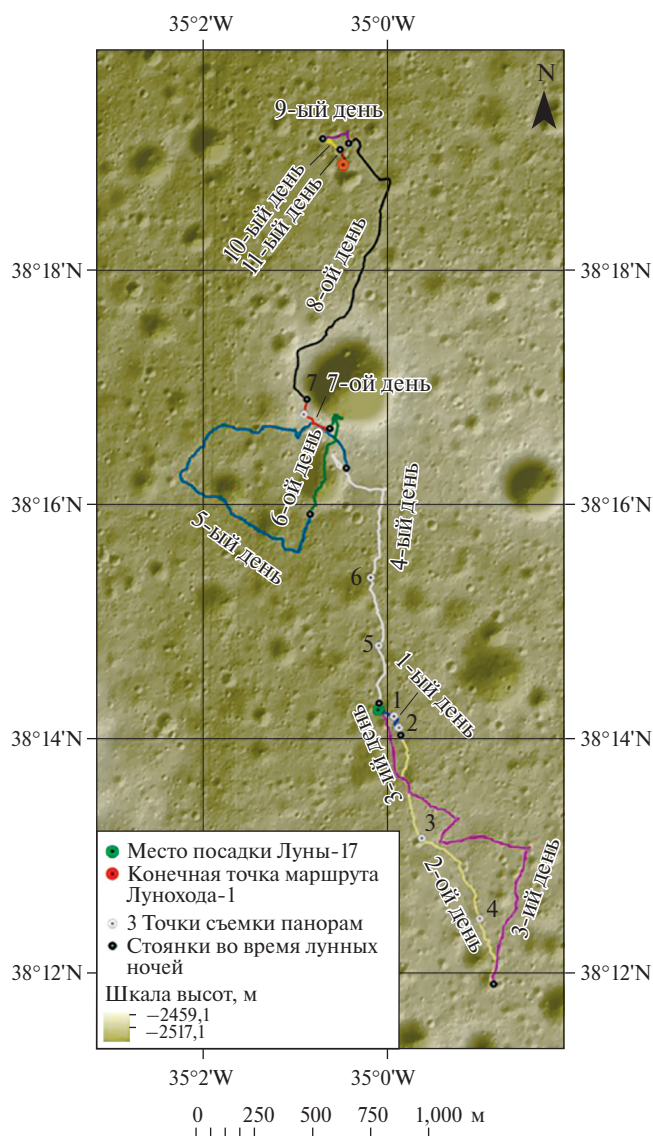
«Утро "Лунохода-1"». Картина А.А. Леонова, А.К. Соколова. 1970 г.





Следы колес «Лунохода-1» после первых метров движения по лунной поверхности. На втором плане – посадочная платформа «Луна-17».

19 ноября 1970 г. Роскосмос, Лаборатория сравнительной планетологии ГЕОХИ РАН



в ответственные моменты необходимые решения.

На борту «Лунохода-1» была установлена система, обеспечивающая безопасность движения и позволяющая предотвратить его опрокидывание. При превышении допустимого предела нагрузки ведущих колес автомата выдавала команду «Стоп». В случае попадания колеса в расщелину оно отключалось. Застывшее колесо из ведущего превращалось в ведомое, а остальные колеса, став ведущими, продолжали движение. Луноход за 7–24 с мог пройти расстояние 2.3–8.4 м на первой скорости (33 см/с), поэтому водитель докладывал командиру оценку обстановки, чтобы тот оперативно подтверждал принятое им решение о выборе дальнейшего маршрута.

Топографическая схема маршрута движения «Лунохода-1» в 1970–1971 гг. Кружками и цифрами указаны остановки. По данным АМС «Лунный орбитальный разведчик». NASA, МИИГАиК



Члены Госкомиссии по запуску с экипажами луноходов.

Первый ряд: начальник НИП-10 Н. Бугаев, начальник группы баллистиков А. Романов, член Главной оперативной группы управления от НПО им. С.А. Лавочкина В. Пантелеев, начальник координационных устройств Командно-измерительного комплекса А. Большой, председатель госкомиссии генерал-лейтенант Г. Тюлин, главный конструктор Г. Бабакин. Второй ряд: В. Довгань, А. Кожевников, В. Сапранов, Н. Ерёмченко, К. Давидовский, Л. Мосензов, Н. Козлитин, И. Фёдоров, А. Чвиков, В. Чубукин, Г. Латыпов, В. Самаль. Центр дальней космической связи в Симферополе, 22 ноября 1970 г.

На протяжении 11 лунных дней «Луноход-1» успешно передвигался и преодолел холмы и долины, пересек множество кратеров, в условиях космического вакуума, радиации и перепада температур около 250°C. Каждый лунный день время ежедневных сеансов связи составляло в среднем 4–6 ч. На 10-й лунный день аппарат сфотографировали с орбиты американские астронавты «Аполлона-11». За время работы на Луне «Луноход-1» преодолел расстояние 10 628 м, обследовал более 80 тыс. км² ее поверхности и передал на Землю более 20 тыс. изображений, 206 панорам, 25 рентгеновских анализов грунта и более 500 результатов физико-механических тестов грунта, полученных с помощью пенетрометра. С помощью научного оборудования

в 537 точках по трассе движения были исследованы свойства поверхностного слоя лунного грунта. Состоялось 157 сеансов связи с Землей, было выдано 24 820 радиокоманд. После потери связи 15 сентября 1971 г. «Луноход-1» оказался на горизонтальной площадке в районе с координатами: 38°18'55" с. ш. и 35°00'29" з. д. в таком положении, при котором возможно многолетнее проведение лазерной локации его с Земли. 30 сентября в месте стоянки лунохода наступил 12 лунный день, но аппарат так на связь и не вышел. Все попытки войти с ним в контакт были прекращены 4 октября 1971 г. В ходе работы «Лунохода-1» был поставлен ряд рекордов: по продолжительности активной работы – 301 сут 06 ч 37 мин, по массе аппарата и пройденному расстоянию.

Пройденное расстояние «Луноходом-1» по лунным дням

Лунный день	Пройденный путь, м	Лунный день	Пройденный путь, м
1-й (17.11–24.11.1970)	197	7-й (06.05–20.05.1971)	197
2-й (08.12–23.12.1970)	1522	8-й (04.06–11.06.1971)	1560
3-й (07.01–21.01.1971)	1936	9-й (03.07–17.07.1971)	219
4-й (07.02–20.02.1971)	1573	10-й (02.08–16.08.1971)	215
5-й (07.03–20.03.1971)	2004	11-й (31.08–15.09.1971)	88
6-й (06.04–20.04.1971)	1029		

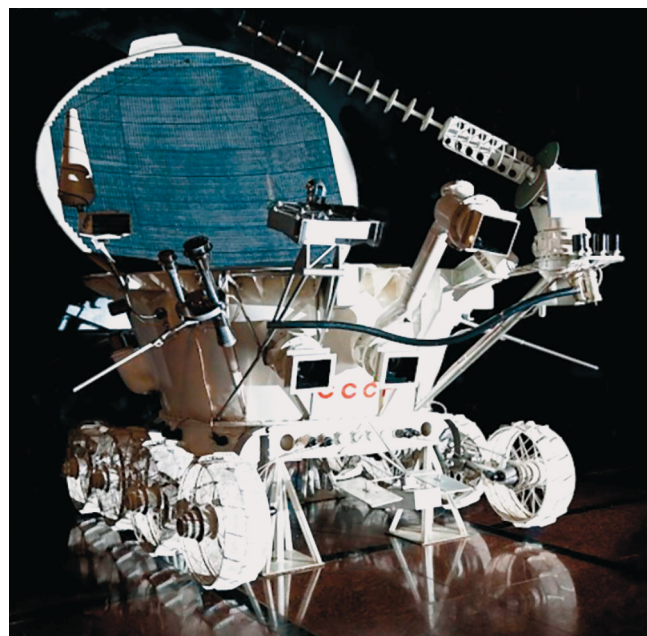
Спустя 40 лет американским ученым под руководством Тома Мерфи из Университета Сан-Диего удалось получить сигналы от уголкового отражателя «Лунохода-1» с помощью облучателя, установленного на 3-метровом телескопе обсерватории Апаچی-Поинт (США), при этом удалось определить расстояние от Земли до Луны с точностью 1 см и его координаты – широту и долготу с погрешностью 10 м. В марте 2010 г. «Луноход-1» был найден на снимках, переданных

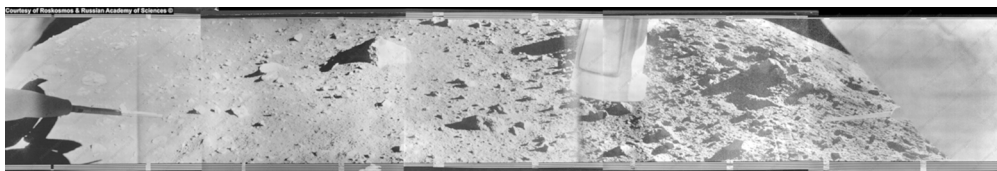
с лунной орбиты американской АМС «Лунный орбитальный разведчик» (Lunar Reconnaissance Orbiter, LRO; ЗиВ, 2009, № 6).

14 июня 2012 г. Международный астрономический союз утвердил названия для 11 кратеров по трассе движения «Лунохода-1»: Альберт, Вася, Валера, Витя, Гена, Игорь, Коля, Костя, Леонид, Николай и Слава в честь его водителей К.К. Давидовского, В.Г. Довганя, Н.М. Еременко, А.Е. Кожевникова, Н.Я. Козлитина, Г.Г. Латыпова, Л.Я. Мосензова, В.Г. Самалы, В.М. Сапранова, И.Л. Фёдорова и В.И. Чубукина.

Следующий усовершенствованный самоходный аппарат «Луноход-2» массой 840 кг был запущен 8 января 1973 г. на борту АМС «Луна-21», которая совершила посадку 16 января в Море Ясности около кратера Лемонье в районе с координатами: 25°51' с. ш. и 30°27'06" в. д. (ЗиВ, 1973, № 3). Выбор этого района посадки был обоснован необходимостью получения новых данных из сложной зоны сочетания моря и материка. Усовершенствование

Макет «Лунохода-2». Фото НПО им. С.А. Лавочкина





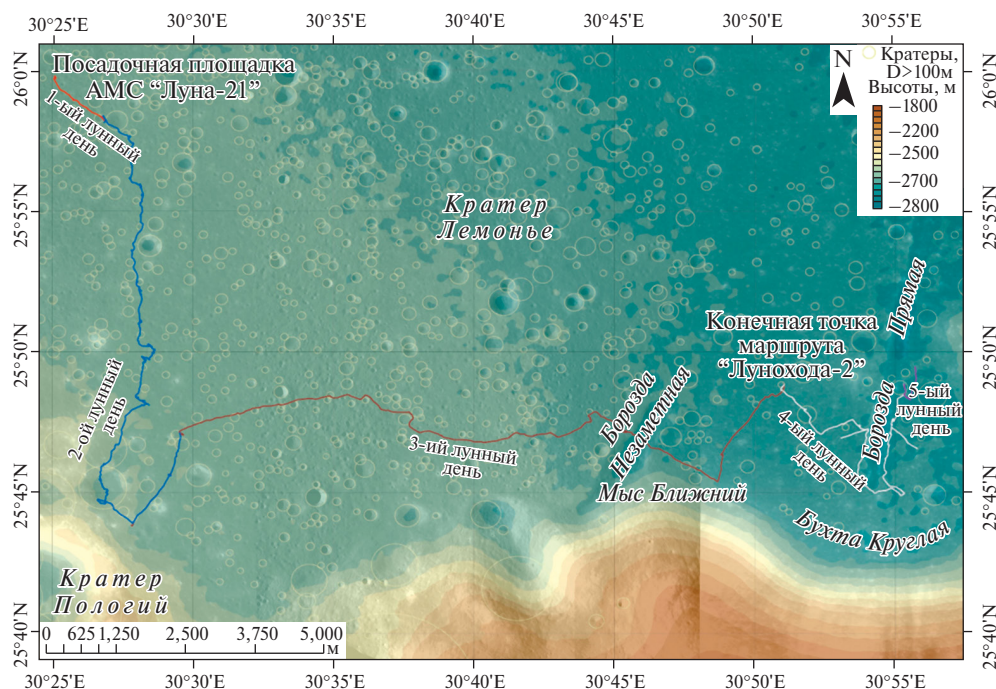
Панорама лунной поверхности № 34, переданная «Луноходом-2» в феврале 1973 г. Роскосмос, Лаборатория сравнительной планетологии ГЕОХИ РАН

конструкции и бортовых систем, а также дополнительная установка приборов и расширение возможностей аппаратуры позволили значительно повысить маневренность и выполнить большой объем научных исследований. Станция села всего в 3 м от края кратера, «Луноход-2» съехал с модуля. Несмотря на отказ навигационной системы, аппарат оказался шустрее своего предшественника – за лунный день он проходил до 16.5 км и сеансы связи с ним длились порой более 11 ч, сказывался опыт экипажей и верхняя, третья, телекамера. За четыре месяца функционирования на Луне «Луноход-2» взобрался на холм высотой 400 м и сфотографировал Тарские горы. В конце января 1973 г. на международной конференции по планетным исследованиям в Москве американские ученые передали советским специалистам 17 фотографий территории, на которой совершила посадку станция «Луна-21». Они были получены экспедицией корабля «Апполона-17», севшего за месяц до нее всего в 172 км к югу, и использовались для навигации «Лунохода-2» при движении в восточном направлении

от места посадки. На 306-м сеансе связи впервые в мире была осуществлена передача информации по оптическому лазерному каналу в сторону Луны и обратная передача по радиоканалу. Эта система «Сейм» состояла из бортового фотоприемника ФА010 и наземных телескопов, оснащенных лазером. 9 мая «Луноход-2» въехал внутрь свежего 5-метрового кратера, при подъеме зацепил крышкой склон кратера, где грунт оказался очень рыхлым, он долго буксовал, пока задним ходом не выбрался на поверхность. При этом откинута назад крышка с солнечной батареей, по-видимому, зачерпнула немного грунта. 10 мая 1973 г. состоялся последний, 503-й сеанс связи на 115-е сутки активной работы. При закрытии крышки на ночь для сохранения тепла, грунт попал на верхнюю поверхность лунохода и стал теплоизолятором, что во время лунного дня привело к перегреву аппаратуры, нарушилась система терморегулирования и электропитания. В итоге «Луноход-2» остался в этом кратере. Все попытки спасти аппарат закончились ничем.

Пройденное расстояние «Луноходом-2» по лунным дням

Лунный день	Пройденный путь, м	Лунный день	Пройденный путь, м
1-й (16.01–24.01.1973)	1148	4-й (08.04–23.04.1973)	8600
2-й (07.02–22.02.1973)	9919	5-й (07.05–09.05.1973)	800
3-й (09.03–23.03.1973)	16 533		



Карта маршрута движения «Лунохода-2» в 1973 г. По данным АМС «Лунный орбитальный разведчик». NASA, МИИГАиК

В ходе работы «Лунохода-2» был поставлен рекорд по пройденному расстоянию – 37,8 км (по новым данным 39,1 км – это расстояние оставалось рекордным до 2015 г., когда его превзошел американский марсоход «Оппортьюнити»; ЗиВ, 2015, № 1, с. 41), значительно превысив рекорд «Лунохода-1». За время работы на Луне он передал на Землю более 80 тыс. изображений и 86 лунных панорам, провел сотни анализов элементного состава и механических свойств грунта, а также серию высокоточных измерений расстояния между Землей и Луной с использованием уголкового отражателя и другие эксперименты. Специалисты NASA, работающие с АМС «Лунный орбитальный разведчик», передали профессору Филу Стуки снимки лунной поверхности, на которых он разглядел следы лунохода, оставленные 40 лет назад

в Море Ясности как свидетельство его работы на Луне.

Успешная работа «Лунохода-1» (1970–1971) и «Лунохода-2» (1973) продемонстрировала, что они способны решать широкий круг задач по исследованию поверхности Луны с помощью передвижных лабораторий. Их возможности далеко не исчерпаны. Вот лишь два примера. После отработки в реальных условиях управления автоматами следующий шаг – создание дистанционных средств для использования на Земле там, где работа человека невозможна или небезопасна. Так, малогабаритное транспортное средство (мини-трактор) способно двигаться по бездорожью в экстремальных условиях в полярных областях или зонах радиационного заражения. Луноходы по своему техническому совершенству оказались уникальными и до сих пор не-

превзойденными. Многие ученые и специалисты, принимавшие участие в лунном проекте, получили Ленинскую премию СССР и удостоены правительственных наград.

За время работы двух луноходов было отснято и передано на Землю более 100 тыс. изображений и 300 панорам Луны.

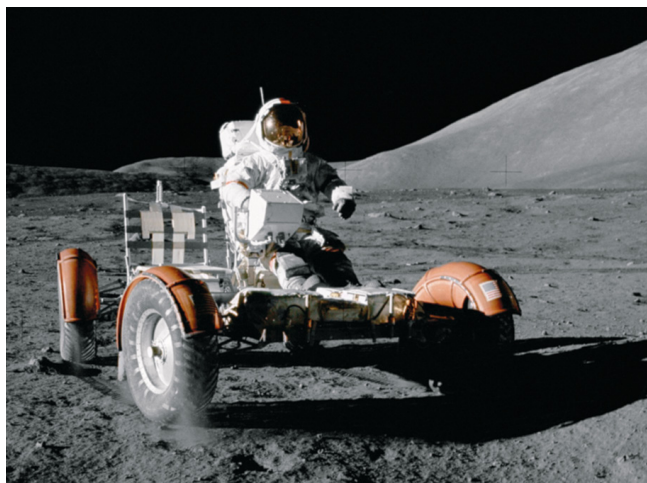
Эти материалы позволили ученым детально исследовать ландшафты и геологические свойства небесного тела, особенности рельефа, структуры и распределения кратеров, поверхностных пород. С помощью пенетрометра измерены механические свойства грунта (реголита) и его химический состав с помощью рентгеновского флуоресцентного спектрометра. Доказано, что Море Дождей и дно кратера Лемонье образованы типичными породами морских базальтов, в то время как возвышенная местность вокруг кратера Лемонье содержит более высокие концентрации железа кремния, алюминия и калия. На луноходах был установлен французский лазерный уголкового отражатель, который состоял из четырнадцати 10-сантиметровых призм из кремниевое стекла для регистрации лазерных импульсов. Предполагаемая точность измерений составляла 25 см. На «Луноходе-2» к французскому уголкового отражателю были добавлены фотоэлементы советского производства. Французскими и советскими учеными на обсерваториях Пик-дю-Миди в Альпах (ЗиВ, 2020, № 3) и в Симеизе в Крыму были проведены лазерные измерения расстояния между Землей и Луной с использованием уголкового отражателей с точностью до 3 м («Луноход-1») и до 40 см («Луноход-2»). При больших временных интервалах наблюдений уточнялась



«Через кратер». Картина А.К. Соколова. 1972 г.

периодическая и вековая динамика движения Луны. Как и на предыдущих станциях, датчики космических лучей регистрировали интенсивность излучения на поверхности Луны. С помощью рентгеновского телескопа были проведены наблюдения Солнца и галактик. Магнитометр измерил слабое магнитное поле, меняющееся из-за токов, индуцированных межпланетными магнитными полями. Фотометрические измерения привели к нескольким неожиданным результатам относительно яркости неба. В дневное время лунное небо загрязнено пылью, поднимающейся с лунной поверхности (ЗиВ, 2017, № 3), а при свете Земли в ночное время оно в 15 раз ярче, чем небо на Земле при полной Луне, поэтому нельзя будет проводить астрономические наблюдения с помощью оптических телескопов на лунной поверхности.

Огромные достижения советской космонавтики в 1950 – 1960-х гг. вызвали огромное чувство ревности в США. Президент Джон Кеннеди с целью восстановления престижа США в освоении космоса объявил национальной программой высадку американского астронавта на Луну. После того, как NASA в конце 1968 г. осуществило успешный пилотируемый полет вокруг Луны корабля «Аполлон-8», а 18 мая 1969 г. провело испытания посадочного лунного аппарата – было принято ре-



Астронавт корабля «Аполлон-17» Юджин Сернан во время поездки на луномобиле. Декабрь 1972 г. Фото NASA

шение о высадке астронавтов на Луну. В 1969–1972 гг. состоялось шесть пилотируемых лунных экспедиций на кораблях «Аполлон» (ЗиВ, 1973, № 5; 1989, № 5; 2009, № 5).

Необходимо отметить, что даже при жесткой конкуренции между СССР и США в исследованиях Луны американские и советские ученые обменивались образцами лунных пород и материалами исследований, участвовали в конференциях и симпозиумах, проводимых в США и СССР в соответствии с Межправительственным соглашением между странами от 1972 г. Это сотрудничество было продолжено в осуществлении совместной программы «Союз-Аполлон» и в рамках программы «Интеркосмос».

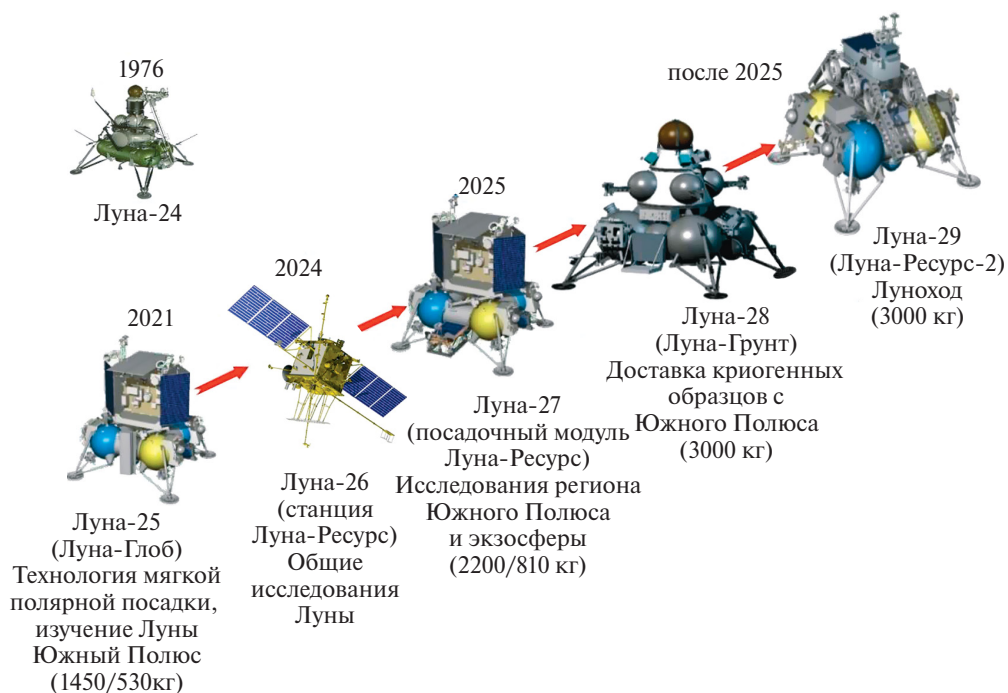
Несмотря на крупные научные и практические достижения в освоении Луны, а также огромные затраты на реализацию национальной лунной программы, NASA в 1972 г. неожиданно принимает решение о прекращении запланированных ранее полетов пилотируемых кораблей «Аполлон» (-18, -19 и -20) на Луну. Это решение

в США было обосновано чрезмерной дороговизной программы, несмотря на то, что в это время в США существовало много проектов по созданию баз на Луне и промышленному освоению ее полезных ископаемых.

Неудачные испытания в СССР сверхтяжелой ракеты-носителя Н-1 для доставки пилотируемой экспедиции на Луну (последний запуск состоялся 23 ноября 1972 г.) также привели к закрытию советской программы (ЗиВ, 1993, № 5). Запуски АМС к Луне завершились

в 1976 г., несмотря на то, что на предприятии был изготовлен модернизированный самоходный аппарат «Луноход-3» со стереоскопической телевизионной системой, полностью укомплектован научным оборудованием, прошел весь цикл наземных испытаний и был подготовлен к экспедиции на Луну. Запуск станции планировался на 1977 г., но в связи с изменившимся отношением к лунной программе он попал в музей НПО им. С.А. Лавочкина. На наш взгляд, снижение интереса к исследованию Луны в последующие годы было связано с огромными финансовыми затратами, которые в те годы не могли себе позволить СССР и США, а также недостаточным техническим уровнем, необходимым для практического освоения лунных ресурсов. Интересы СССР и США в это время переключились на изучение других планет Солнечной системы и экспериментов на пилотируемых орбитальных станциях.

Спустя несколько десятилетий США вновь вернулись к проблеме освоения Луны. В 2004 г. президент США Джордж



Российская перспективная лунная программа

Буш предложил продолжить исследования Луны и объявил программу Constellation (созвездие), которая предусматривала выполнение автоматических исследований для подготовки будущих пилотируемых полетов на Луну (ЗиВ, 2004, № 3, с. 46). Через несколько лет следующий президент США Барак Обама приостановил выполнение этой программы по финансовым соображениям и из-за отсутствия прогресса в создании технических систем для доставки экспедиций на Луну. Тем не менее в последние несколько лет мировое сообщество вновь обратилось к фундаментальным исследованиям Луны. Полученные прежде данные не дали исчерпывающего ответа на многие ключевые вопросы происхождения и эволюции нашего ближайшего небесного соседа. До сих пор до конца не решены проблемы Луны: внутренней структуры, происхождения, разли-

чия рельефа полушарий, образования реголита, магнетизма и пыли, важные для понимания истории формирования Земли и ее связи с Луной.

Недавно президент США Дональд Трамп в одностороннем порядке объявил новую программу «Артемиды» по созданию обитаемой базы на Луне и проведению работ по освоению природных ресурсов Луны, несмотря на существующий «Договор о принципах деятельности государств по исследованию космического пространства, включая Луну и другие небесные тела», принятый Генеральной Ассамблеей ООН 19 ноября 1966 г. В США также рассматриваются проекты создания военных баз на Луне.

В XXI в. большой интерес к исследованию Луны проявляют США, ЕС, Китай, Индия, Япония и Израиль, уже отправившие к ней свои АМС. Согласно китайской программе на 2040–2060 гг.

планируется создать обитаемую лунную научную базу.

За 50 лет, прошедших со времени советской лунной программы, в России появились новые технические средства и аппаратура, позволяющие проводить исследования Луны на более высоком техническом уровне по точности и объему измерений. 28 ноября 2018 г. на совместном заседании Совета РАН по космосу и Роскосмоса был представлен проект «Концепции российской программы исследования и освоения Луны», состоящей из трех этапов, рассчитанных на 2021–2040 гг.:

– первый этап (2021–2025) «Вылазка». Отработка технологий на МКС, создание базового модуля окололунной станции, испытания перспективного пилотируемого корабля «Федерация», беспилотный облет Луны, ее изучения АМС «Луна-25–29» для решения научных задач и подготовки дальнейших этапов работ (ЗиВ, 2012, № 3; 2014, № 3). Орбитальная лунная станция может быть создана на базе элементов российского сегмента МКС, в частности использования узлового модуля, пилотируемого транспортного корабля и научно-энергетического модуля для высадки на поверхность Луны. На станции будут находиться лунные взлетно-посадочные и грузовые модули;

– второй этап (2025–2035) «Форпост». Отработка средств доступа на поверхность Луны: пилотируемые полеты с облетом в 2026 г. и высадкой космонавтов после 2030 г. (длительностью 14 сут) на поверхность Луны для создания и размещения первых элементов посещаемой базы. В 2025–2030 гг. планируется развертывание на окололунной орбите спутников связи;

– третий этап (после 2035 г.) «База». Планируется завершение строительства полноценной посещаемой базы. Создание научной инфраструктуры в виде постройки на поверхности

Луны двух астрономических обсерваторий. Создание инфраструктуры, добыча водяного льда (создание на ее основе кислородно-водородного топлива), строительство убежищ от радиации. Создание единой системы пилотируемых и автоматических средств освоения Луны. На 2036–2040 гг. намечено развертывание на окололунной орбите навигационных спутников для прокладки маршрутов, работающей на поверхности техники. Глобальная спутниковая навигационная система Луны должна включать спутники на земной орбите, транслирующие навигационный сигнал от Земли, а также сеть спутников на окололунной орбите.

Завершающим этапом российской программы станет проект «Лунный полигон», предусматривающий развертывание научных, служебных и технологических комплексов на базе автоматических универсальных мобильных средств. В итоге предполагается вернуть обитаемый полигон для долгосрочного освоения полярных областей Луны – проведение там научных исследований и прикладных работ.

В настоящее время изучение Луны осуществляется в основном национальными космическими агентствами. Они могли бы развиваться более быстрыми темпами и гораздо успешнее в случае объединения усилий нескольких стран в реализации совместной программы, как в программе МКС. В этом направлении госкорпорацией «Роскосмос» уже подписан ряд соглашений о совместных исследованиях Луны с Европейским космическим агентством, Китаем, Индией и США, пока только о взаимной установке научных приборов и технических систем на космических аппаратах, запускаемых этими странами к Луне по национальным программам, и обмену результатами исследований.

РОССИЙСКИЕ ДВИГАТЕЛИ НА АМЕРИКАНСКИХ РАКЕТАХ

СУДАКОВ Владимир Сергеевич,

главный специалист

АО «НПО Энергомаш им. академика В.П. Глушко», Химки

DOI: 10.7868/50044394820050096

В 2020 году исполнилось 20 лет со дня первого пуска новой американской ракеты-носителя «Атлас-3» с российским ЖРД РД-180 разработки «НПО Энергомаш».

Установление сотрудничества «НПО Энергомаш» в области разработки жидкостных ракетных двигателей (ЖРД) с иностранными компаниями в 1950–1980 гг. было невозможно. Это было

прерогативой высшего руководства страны и в условиях противостояния двух лагерей практически исключалось. Правда, можно отметить, что еще в 1930-х гг. в рамках деятельности авиазавода № 84 в г. Химки шло освоение лицензионного производства транспортных самолетов Ли-2 (ПС-84) – копии американского самолета «Дуглас DC-3» (для чего некоторые специалисты из Химок побывали в командировке в США). Можно также отметить участие группы специалистов предприятия (совместно с представителями ОКБ-1 и ряда других предприятий отрасли) в оказании научно-технической помощи Китаю в 1950-е гг. в освоении баллистической ракеты Р-2 (8Ж38) с двигателем РД-101, созданным в ОКБ-456 под руководством В.П. Глушко (ЗиВ, 1998, № 5; 2018, № 6). Но эту работу нельзя в полной мере отнести к области внешнеэкономической деятельности, как и проводимую в 1970-е гг. работу по экспорту снегокатов «Чук и Гек» производства «НПО Энергомаш» в ряд стран Европы и Америки.

С начала 1990-х гг. практически прекратилось финансирование многих космических программ, в частности, программы «Энергия» – «Буран», поэтому «НПО Энергомаш» осталось без госзаказа на производство только что разработанных, совершенных, самых мощных в мире ЖРД семейства РД-170/171 тягой в вакууме 806 тс, созданных для РН «Энергия» и «Зенит» (ЗиВ, 2009,



Ракетно-космическая система «Энергия» – «Буран». Космодром Байконур, октябрь 1988 г.



Жидкостные ракетные двигатели семейства РД-170/171: а – полноразмерный макет ЖРД РД-170 в павильоне «Космос» на ВДНХ, б – выставочный масштабный макет ЖРД РД-171



№ 5; 2016, № 3). Около 12 тысяч сотрудников предприятия месяцами не получали зарплату, она выдавалась с многомесячным отставанием, на весьма мизерном уровне. Возникли предпосылки к полному прекращению деятельности предприятия.

Руководству предприятия (генеральный директор и генеральный конструктор с 1991 г. Б.И. Каторгин) пришлось приложить много сил, чтобы получить разрешение всех государственных органов на проведение самостоятельной внешнеэкономической деятельности, на получение права на посещение иностранными специалистами ранее закрытого города Химки Московской области и еще более секретного «НПО Энергомаш».

При обсуждении возможных перспектив сотрудничества с такими ведущими фирмами-производителями аэрокосмической техники США, как: «Дженерал Дайнемикс», «Аэроджет», «Рокетдайн», «Пратт энд Уитни» – были получены весьма высокие оценки достижений «НПО Энергомаш» в области создания ЖРД. По их оценкам, раз-

работка четырехкамерного ЖРД РД-170 опередила аналогичные разработки в США на 8–10 лет. В этой связи был понятен интерес к продукции «НПО Энергомаш» ряда зарубежных компаний, в первую очередь из США и Франции.

За 1990–1992 гг. было заключено несколько контрактов с фирмами США и Франции. И хотя они были небольшими по суммам, но оказались очень важны для предприятия как подтверждение того, что на зарубежные рынки можно и нужно выходить.

Ключевым моментом в международной деятельности следует считать подписание 26 октября 1992 г. Соглашения по совместному маркетингу и лицензированию технологий с компанией «Пратт энд Уитни». В 1995 г. был подписан контракт с компанией «Мартин Мариетта» на разработку и испытания кислородного насоса. Кроме того, осенью 1995 г. на огневом стенде компании «Пратт энд Уитни» во Флориде были проведены три демонстрационные огневые испытания ЖРД РД-120, созданного в 1985 г. в «НПО Энергомаш» для второй ступени РН «Зенит». Успех

этих испытаний стал весомым доказательством реальной осуществимости плодотворного сотрудничества российских и американских специалистов.

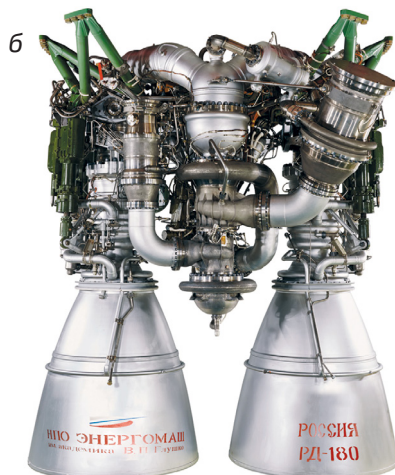
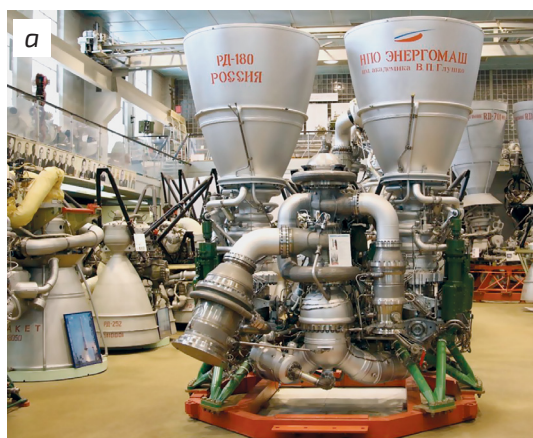
В этот период были решены многие проблемы политического, юридического и технического характера, которые позволили в «НПО Энергомаш» создать мощный кислородно-керосиновый двухкамерный ЖРД РД-180 с дожиганием окислительного генераторного газа для американского семейства ракет-носителей «Атлас-3» и «Атлас-5». Двигатель имеет управляемый вектор тяги при помощи качания каждой камеры в двух плоскостях и возможность глубокого дросселирования тяги двигателя в полете. Двигатель содержит две камеры сгорания, турбо-насосный агрегат (состоит из турбины, насосов горючего и окислителя), газогенератор, бустерные насосы горючего и окислителя. Основные характеристики РД-180: масса – 5950 кг, сухая масса – 5480 кг, высота – 3.6 м, диаметр – 3.2 м, диаметр выходного сечения сопла – 1.43 м, тяга на уровне моря – 390.2 тс, тяга в вакууме – 423.2 тс, удельный импульс на уровне



Жидкостный ракетный двигатель РД-120 разработки «НПО Энергомаш»

моря – 311.9 с, удельный импульс в вакууме – 338.4 с, давление в камере сгорания – 261.7 кгс/см². В декабре 2003 г. за работы по программе создания

Жидкостный ракетный двигатель РД-180: а – полноразмерный макет ЖРД РД-180 в демонстрационном зале «НПО Энергомаш», б – общий вид





Старт РН «Атлас-Центавр» AC-69 с ДУ МА-5 на первой ступени. Космодром на Мысе Канаверал, 25 июля 1990 г. Фото «Локхид Мартин», NASA

РД-180 работникам предприятия Б.И. Каторгину, В.К. Чванову, Ф.Ю. Челькису, С.С. Головченко, В.Н. Худякову и В.И. Семёнову присуждена Государственная премия РФ по науке и технике.

Основой модернизации семейства ракет-носителей «Атлас» явилась замена на первой ступени двигательной установки МА-5А разработки компании «Рокетдайн», производящей ЖРД, на двигатель РД-180 разработки «НПО Энергомаш». Значительно более высокий удельный импульс (на 40 сек больше в пустоте) РД-180 по сравнению с МА-5А, возможность глубокого дроселирования российского двигателя и совершенство его конструкции позволили существенно увеличить энергетические возможности ракет-носителей всего семейства, повысить их эксплуатационные качества, уменьшить стоимость пуска. Решение о выборе ЖРД РД-180 было принято по резуль-

татам конкурса, проведенного в 1995 г. компанией «Локхид Мартин». В конкурсе, кроме РД-180, участвовали вариант кислородно-керосинового ЖРД МА-5 компании «Рокетдайн» и российский ЖРД НК-33 компании СНТК им. Н.Д. Кузнецова. О победе РД-180 в конкурсе было объявлено 13 января 1996 г.

Создание двигателя новой и столь значительной размерности осуществлено в сжатые сроки, а отработка – на малом количестве материальной части (более 100 доводочных огневых испытаний было проведено на 10 доводочных ЖРД).

Подписав 14 июля 1996 г. контракт на полномасштабную разработку двигателя, «НПО Энергомаш» провело первое огневое испытание прототипа двигателя 14 ноября 1996 г., а первое огневое испытание штатного двигателя 14 апреля 1997 г. В течение 1997–1998 гг. успешно было проведено три испытания двигателя в составе ступени ракеты-носителя в Космическом центре им. Дж. Маршалла NASA. С 9 декабря 1998 г. по 29 апреля 1999 г. успешно проведена сертификация двигателя для РН «Атлас-3», 2 января 1999 г. начата передача США товарных двигателей. Первый пуск РН «Атлас-3А» с РД-180 состоялся 24 мая 2000 г., РН «Атлас-3В» – 21 февраля 2002 г. Сертификация двигателя РД-180 для РН «Атлас-5» завершена 11 августа 2001 г., первый пуск РН «Атлас-5» с двигателем РД-180 произведен 21 августа 2002 г. Лицензионное соглашение на экспорт в США полного комплекта конструкторской, технологической и испытательной документации по двигателю РД-180 подписано 27 сентября 2002 г. К настоящему времени «НПО Энергомаш» поставил около 120 товарных (летных) ЖРД. Годовое ожидание перед первым пуском РН «Атлас-3» с РД-180 было обусловлено проблемами, возникшими в американском двигателе РЛ-10 второй ступени «Центавр» этой ракеты-носителя.



Огневые испытания ЖРД РД-180 в составе первой ступени РН «Атлас» в США. 1997 г. Фото «Пратт энд Уитни», NASA

Ракета-носитель «Атлас-3» имела две версии, «Атлас-5» – множество версий, позволяющих запускать грузы на низкую орбиту ИСЗ массой до 18.8 т. Это следующие 10 версий: 401 (первый запуск 21 августа 2002 г.), 411 (20 апреля 2006 г.), 421 (10 октября 2007 г.), 431 (11 марта 2005 г.), 501 (22 июля 2010 г.), 511 (запусков не было), 521 (17 июля 2003 г.), 531 (14 августа 2010 г.), 541 (26 ноября 2011 г.), 551 (19 января 2006 г.). В зависимости от модификации РН «Атлас-5» по бокам первой ступени могут быть установлены до пяти твердотопливных ускорителей AJ-60A компании «Аэроджет», а также имеется возможность использовать обтекатели полезного груза различного диаметра (4.2 или 5.4 м). Кроме того, имеется вариант РН «Атлас-5» с двумя ЖРД RL-10 на верхней ступени «Центавр».



Схема ракеты-носителя «Атлас-5» конфигурации 401. Рисунок NASA

Основные сведения о РН «Атлас-3» и «Атлас-5»

Характеристики	«Атлас-3»	«Атлас-5»
Длина, м	52.8	58.3
Диаметр, м	3.05	3.81
Стартовая масса, т	214.3–216.0	334.5–546.7
Масса полезной нагрузки на низкой орбите ИСЗ, т	8.6–10.2	9.8–18.8
Масса полезной нагрузки на геостационарной орбите ИСЗ, т	4.0–4.5	4.75–8.9
Запуски, годы	2000–2005	с 2002 по н. вр.
Количество полетов	6	85*

* Последний пуск состоялся 30 июля 2020 г.

Пуск РН «Атлас-3» с российским ЖРД РД-180 был первоначально назначен на 15 мая 2000 г. с космодрома на Мысе Канаверал во Флориде. Руководство во главе с генеральным директором и генеральным конструктором Б.И. Каторгиным и ведущие специалисты «НПО Энергомаш» уехали в США. Пуск должен был произойти в ночное время по московскому времени. Мы знали, что предусмотрена возможность его проведения 16 и 17 мая. В «НПО Энергомаш» было назначено время (23.00) для приезда российских телекомпаний с посещением демонстрационного зала для съемки полноразмерного макета РД-180, только что там установленного. Отметим, что несколько ранее в этот же день демонстрационный зал посетила съемочная группа международного агентства «Ассошиэйтед Пресс».

Несколько позже восемь съемочных групп переехали в офис предприятия, где все было готово к проведению предстартовой пресс-конференции и включению прямого телеканала с американского космодрома. К телегруппам присоединились представители СМИ из газет и журналов. После пресс-конференции все внимание было сосредоточено на телеэкране, где появлялась информация об этапах подготовки РН «Атлас-3» к пуску. Одновременно в соседнем помещении наши

сотрудники имели возможность получать оперативную информацию от технических специалистов «НПО Энергомаш», находящихся на космодроме.

Итак, получена информация, что все идет по графику. Затем прошла информация о задержке пуска на 30 минут, но вновь операции подготовки возобновились, и уже прошла заправка кислородом второй ступени. Но практически сразу после этого все работы были остановлены и было объявлено о переносе пуска на следующий день из-за проблем с радаром на Бермудских островах.

Все вновь повторяется 16 мая. Все собираются в офисе около 11 часов ночи. Рабочая группа получает информацию, что в районе полигона ветер достаточно сильный, но работы идут практически по графику. Однако вскоре мы уже по интернету получаем информацию об отмене пуска из-за сильного ветра по всей трассе полета ракеты-носителя, хотя наши специалисты в США еще не получили этой информации.

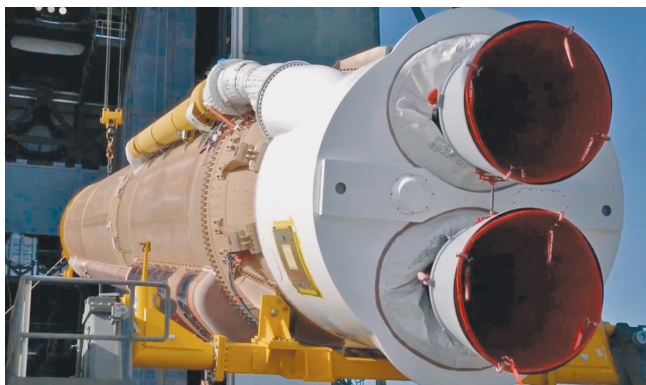
17 мая 2000 г. – третий день (вернее, третья бессонная ночь). Сбор гостей идет заметно медленнее. Только самые активные пришли около 11 часов ночи и убивали время, наблюдая за футбольным матчем на Кубок УЕФА. Когда время матча стало плавно перетекать в добавленные два тайма, появилась



Выгрузка первой ступени РН «Атлас-5» для ее установки в здание вертикальной сборки на космодроме на Мысе Канаверал. 17 февраля 2015 г. Фото NASA



Первые товарные ЖРД РД-180 в транспортировочных контейнерах со снятыми кожухами, поставленные в США. Цех фирмы «Локхид Мартин» в Денвере. Фото Локхид Мартин



Российский двигатель РД-180 на первой ступени РН «Атлас-5». Космодром на Мысе Канаверал. Фото NASA

информация, что погода в США прекрасная, все операции идут строго по графику. Прошла заправка второй ступени, началась заправка первой ступени, и тут возникла проблема с клапаном в наземной линии заправки кислородом. Задержка. Наконец, эта проблема решена, но возникла новая причина, не позволяющая продолжать подготовку: в зоне полигона обнаружен самолет. Надо ждать, пока его не выдворят из зоны. Время пуска вновь сдвигается. Наконец, и этот вопрос решен, процедуры продолжают. В репортаже по телевидению из США начали пускать рекламные блоки с выступлениями руководителей «Локхид Мартин» о хорошей новой РН семейства «Атлас» и РД-180, предназначенных не только для РН «Атлас-3», но и для будущей РН «Атлас-5», о важности совместных работ «НПО Энергомаш» и «Пратт энд Уитни». Новый этап подготовки достигнут: время Т-5 (5 минут до времени старта). Вроде бы все готово, но идет задержка. Опять сдвигка времени старта. Наконец цифры на табло стали меняться: 4.59, 4.58, 4.57... Но опять на экране горят замершие цифры Т-5, а голос из телевизора говорит о каких-то проблемах с датчиками в баках и магистралях ракеты. Время идет быстро, и уже прибли-

жается граница окна пуска. В центре управления решаются повторить попытку пуска. Остаются три минуты, две... И как всегда – исчезает картинка с экрана телевизора, все ждут в тишине, наконец картинка появилась, но не видно признаков радости. Оказалось, остановка процесса произошла на Т-29 (за 29 секунд до старта). Без промедления назначается новое время старта. Это последняя возмож-

ность старта за минуту до окончания окна пуска. Вроде бы все готово. Опрос руководителей служб о готовности, все готовы, но руководитель полетом принимает решение об отбое – риск, по его мнению, слишком велик.

Сразу же при завершении репортажа дается информация, что возможна новая попытка пуска 20 или 21 мая, поскольку другие дни отведены на подготовку к запуску космического корабля «Атлантис» STS-101 с экипажем из семи человек (в их числе российский космонавт Ю.В. Усачёв) для работы на МКС, старт которого состоялся 19 мая 2000 г.

Наше руководство принимает решение вернуться из США в Москву, не тратить время на ожидание новой попытки пуска, поскольку и названные даты остаются под вопросом.

Нам пришлось провести ночные часы 20 мая в ожидании еще одной попытки пуска, когда она была отменена после нескольких задержек из-за попадания 73 яхт в запретную зону. Оказывается, близко к запретной зоне проводился рыболовный турнир, о проведении которого сотрудники космодрома не были оповещены. Некоторые яхты смогли вовремя покинуть зону, некоторые остались в угрожающей близости



Первый пуск РН «Атлас-3» с российским ЖРД РД-180. Космодром на Мысе Канаверал, 24 мая 2000 г. Фото NASA

с этой зоной, а одна яхта не смогла самостоятельно покинуть запретную зону из-за возникших поломок. Хотя береговая гвардия активно старалась удалить все суда из запретной зоны.

Наконец, 24 мая 2000 г., когда с пятой попытки (вернее в пятый пусковой день) состоялся-таки пуск американской РН «Атлас-3» с российским ЖРД РД-180 на первой ступени, был выведен спутник связи «Еутелсат» (EUTELSAT G4), который долгое время успешно работал для стран Азии и Африки.

И в завершение несколько цитат:

Вице-президент фирмы «Локхид Мартин» Джон Кэррос: «Я рад назвать ракетный двигатель РД-180 лучшим ракетным двигателем на планете».

Посол США в России Александр Вершуба: «Это прекрасный пример сотрудничества в области освоения космоса».



Старты ракет-носителей «Атлас-5»: а – АМС «Марсианский орбитальный разведчик» 12 августа 2005 г., б – АМС «Юнона» 5 августа 2011 г. Фото NASA



Пуски продолжаются... Один из пусков РН «Атлас-5» с ЖРД РД-180 с космодрома на Мысе Канаверал. Фото «Локхид Мартин», NASA

Я рад присутствовать на фирме, создавшей самый мощный на планете двигатель».

Сотрудничество между США и Россией по ЖРД РД-180 является уникальным примером экспорта Россией высокотехнологической продукции в США.

Напомним, что на начало 2020 г. в США поставлено около 120 серийных двигателей, успешно выполнено 90 пусков РН «Атлас-3» и «Атлас-5» с РД-180 разработки и производства «НПО Энергомаш».

В списке космических объектов, запущенных с помощью РН «Атлас-5» с российскими ЖРД РД-180, можно отметить такие значимые для исследования космоса полеты, как АМС «Марсианский орбитальный разведчик» (Mars Reconnaissance Orbiter, MRO), отправленный 12 августа 2005 г. на

орбиту Марса (ЗиВ, 2005, № 6); АМС «Новые горизонты» 19 января 2006 г. к Плутону и объектам пояса Койпера (ЗиВ, 2006, № 6; 2015, № 6, с. 94–98; 2016, № 1, с. 16–20); космическая «Обсерватория солнечной динамики» (Solar Dynamics Observatory) 11 февраля 2010 г. для исследования Солнца (ЗиВ, 2010, № 6); два космических аппарата «Лунный орбитальный разведчик» (LRO) и LCROSS 18 июня 2009 г. на орбиту Луны и исследования лунной поверхности при падении (ЗиВ, 2009, № 6), АМС «Юнона» (Juno) 5 августа 2011 г. на орбиту Юпитера (ЗиВ, 2011, № 6, с. 31) и АМС «Марс-2020» с марсоходом «Персеверэнс» (Perseverance, настойчивость) и дроном «Марсианский вертолет-разведчик» Ingenuity (изобретательность) 30 июля 2020 г.

В декабре 2019 г. был выполнен первый запуск нового американского КК «Старлайнер» (Starliner CST-100) компании «Боинг» в беспилотном варианте массой 13 т с использованием РН «Атлас-5» с российским РД-180. В планах NASA начало эксплуатации с 2021 г. этого пилотируемого корабля для полетов на МКС. 10 февраля 2020 г. с помощью РН «Атлас-5» (вариант 411) с ЖРД РД-180 запущен научный КА «Солар орбитер» (Solar Orbiter) для исследования гелиосферы Солнца. Планируются пуски РН «Атлас-5» с российским РД-180 для вывода других спутников связи и дистанционно-зондирования Земли, ряда космических аппаратов в интересах национальной безопасности США. Пуски РН «Атлас-5» продолжаются...

В скором времени история РД-180 продолжится в России, этот уникальный двигатель будет применяться на первой ступени РН «Союз-6», которая в перспективе может прийти на замену ракеты-носителя среднего класса «Союз-2», а также в центральном блоке ракеты сверхтяжелого класса. В «НПО Энергомаш» начаты активные работы по адаптации РД-180 к новой версии ракеты. В нем будет применен весь лучший опыт, полученный при создании РД-180 и РД-191. Есть и еще одно важное достоинство двигателя РД-180, которое обязательно должно быть применено в будущем. Двигатели «НПО Энергомаш» можно использовать до 10 раз, поэтому специалисты предприятия продолжат разрабатывать необходимый задел для создания многоразовых ракет.



ИЗДАТЕЛЬСТВО НАУКА 1727
naukapublishers.ru

ЭКСКЛЮЗИВНЫЙ ПЕРЕПЛЕТ

Рисунок на коже
Все виды тиснения
Кожаный переплет
Рельефное тиснение
Клише любой сложности
Полноцветная роспись обзоров

А также адресные папки, дипломы, футляры

Берёмся за работы любой сложности!
По всем интересующим вопросам пишите на почту kiseleva@tnauka.ru

реклама

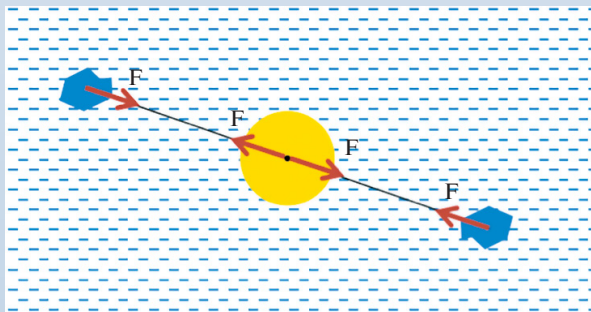
ВИКТОРИНА ЮНЫХ ФИЗИКОВ ОТДЕЛЕНИЯ ФИЗИЧЕСКИХ НАУК РАН

Решения

Задачи см. на стр. 51

Задача 1

В первую очередь при решении данной задачи обратим внимание, что шары не находятся в поле силы тяжести Земли, т. е. это не обычная задача на силу Архимеда (где деревянный шарик, плотность которого меньше плотности воды, всплывает, а металлический шарик с большей плотностью тонет). Таким образом, нужно рассмотреть гипотетическую ситуацию бесконечного пространства, заполненного водой с двумя шариками при отсутствии каких-либо других тел. Для начала рассмотрим случай одного шара (например, металлического) в бесконечном пространстве с водой. Рассмотрим гравитационное взаимодействие одного из шаров с водой. Вполне очевидно, что, поскольку система центрально симметрична (по отношению к центру шара), взаимодействие шара (в соответствии с законом всемирного тяготения) с любым объемом воды будет уравновешено взаимодействием с точно таким же объемом, инверсным относительно центра шара (см. Рис. 1: по модулю $F_1 = F_2$). Будем считать, что вода при этом не сжимается и не перемешивается. Гравитационное поле шарика, по сути, создает силовое поле, которое приводит к уменьшению давления в воде по мере удаления от шарика.



Задача 1. Рисунок 1

Теперь рассмотрим гравитационное взаимодействие в случае с двумя шариками (Рис. 1).

Силу гравитационного притяжения двух шаров F_1 рассчитываем по закону всемирного тяготения

$$F_1 = G \frac{M_{\text{Ж}} M_{\text{Д}}}{R^2} = G \frac{\rho_{\text{Ж}} V_{\text{Ж}} \rho_{\text{Д}} V_{\text{Д}}}{R^2},$$

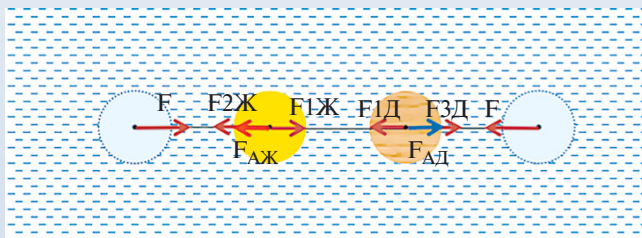
где R – расстояние между центрами шаров, G – гравитационная постоянная, $\rho_{\text{Ж}}$, $\rho_{\text{Д}}$, $V_{\text{Ж}}$, $V_{\text{Д}}$ – плотности и объемы шариков соответственно.

Чтобы учесть нескомпенсированное гравитационное взаимодействие воды можно применить следующий прием: рассматриваем притяжение от зеркально отраженного шарика с плотностью воды. Тогда на металлический шарик будет действовать нескомпенсированная гравитационная сила притяжения F_2 к объему воды, в точности равному деревянному шарiku и удаленному на такое же расстояние:

$$F_2 = G \frac{M_{\text{ж}} M_{\text{вд}}}{R^2} = G \frac{\rho_{\text{ж}} V_{\text{ж}} \rho_{\text{д}} V_{\text{д}}}{R^2},$$

Аналогично на деревянный шарик действует нескомпенсированная сила со стороны воды

$$F_3 = G \frac{M_{\text{д}} M_{\text{вж}}}{R^2} = G \frac{\rho_{\text{д}} V_{\text{д}} \rho_{\text{в}} V_{\text{ж}}}{R^2},$$



Задача 1. Рисунок 2

Наконец, на каждый шарик будет действовать выталкивающая (по отношению к другому шарiku) сила Архимеда. Чтобы точно учесть эту силу, нужно проводить расчеты, выходящие за пределы школьной программы (интегрирование и т. п.), однако в приближении, что расстояние между шариками R намного больше радиусов шариков, можно использовать обычную запись для силы Архимеда:

$$F_{\text{Аж}} = \rho_{\text{в}} g_{\text{д}} V_{\text{ж}} = \rho_{\text{в}} G \frac{M_{\text{д}}}{R^2} V_{\text{ж}} = G \frac{\rho_{\text{в}} \rho_{\text{д}} V_{\text{д}} V_{\text{ж}}}{R^2},$$

здесь $g_{\text{д}}$ – аналог ускорения свободного падения в гравитационном поле деревянного шарика

$$F_{\text{Ад}} = \rho_{\text{в}} g_{\text{ж}} V_{\text{д}} = \rho_{\text{в}} G \frac{M_{\text{ж}}}{R^2} V_{\text{д}} = G \frac{\rho_{\text{в}} \rho_{\text{ж}} V_{\text{ж}} V_{\text{д}}}{R^2},$$

здесь $g_{\text{ж}}$ – аналог ускорения свободного падения в гравитационном поле железного шарика.

Тогда суммарная сила, действующая на железный шарик будет:

$$\begin{aligned} F_{\text{ж}} &= F_{1\text{ж}} - F_{2\text{ж}} - F_{\text{Аж}} = G \frac{\rho_{\text{ж}} V_{\text{ж}} \rho_{\text{д}} V_{\text{д}}}{R^2} - G \frac{\rho_{\text{ж}} V_{\text{ж}} \rho_{\text{в}} V_{\text{д}}}{R^2} - G \frac{\rho_{\text{в}} \rho_{\text{д}} V_{\text{д}} V_{\text{ж}}}{R^2} = \\ &= G \frac{V_{\text{д}} V_{\text{ж}}}{R^2} (\rho_{\text{ж}} \rho_{\text{д}} - \rho_{\text{ж}} \rho_{\text{в}} - \rho_{\text{в}} \rho_{\text{д}}). \end{aligned}$$

Тогда суммарная сила, действующая на деревянный шарик будет:

$$\begin{aligned} F_{\text{д}} &= F_{1\text{д}} - F_{3\text{д}} - F_{\text{Ад}} = G \frac{\rho_{\text{ж}} V_{\text{ж}} \rho_{\text{д}} V_{\text{д}}}{R^2} - G \frac{\rho_{\text{д}} V_{\text{д}} \rho_{\text{в}} V_{\text{ж}}}{R^2} - G \frac{\rho_{\text{в}} \rho_{\text{ж}} V_{\text{ж}} V_{\text{д}}}{R^2} = \\ &= G \frac{V_{\text{д}} V_{\text{ж}}}{R^2} (\rho_{\text{ж}} \rho_{\text{д}} - \rho_{\text{в}} \rho_{\text{д}} - \rho_{\text{ж}} \rho_{\text{в}}). \end{aligned}$$

В последних двух выражениях важно правильно учесть направления векторов, чтобы в дальнейшем понять, куда направлены итоговые силы (для этого

мы добавили соответствующие индексы). Более грамотно было бы записывать все силы в векторной форме.

Приняв во внимание, что плотность железа 7800 кг/м^3 , плотность воды 1000 кг/м^3 , плотность дерева примерно 500 кг/м^3 (вообще, в диапазоне от 400 до 900 кг/м^3 , хотя для черного дерева – 1160 кг/м^3), получаем:

$$(\rho_{\text{жРД}} - \rho_{\text{вРД}} - \rho_{\text{жРВ}}) = 3\,900\,000 - 500\,000 - 7\,800\,000 = -4\,400\,000 \text{ (кг/м}^3\text{)}^2.$$

Поскольку знак получился отрицательный, силы будут действовать противоположно направлениям $F_{1\text{ж}}$ и $F_{1\text{д}}$. Т. е. на шарики будут действовать, фактически, отталкивающие силы, направленные в разные стороны вдоль оси, соединяющей центры шаров.

Следовательно, в соответствии со вторым законом Ньютона $F = ma$, шарики будут ускоренно двигаться в противоположные стороны вдоль линии, соединяющей их центры. Важно отметить, что движение это не будет равноускоренным, поскольку будет меняться (увеличиваться) расстояние между шариками R , т. е. ускорение будет уменьшаться, но направление движения никогда не поменяется.

Задача становится сложнее, если в начальный момент времени расстояние между шариками было сравнимо с их радиусами, однако качественную картину взаимодействия это не меняет, лишь изменятся начальные значения сил (ускорений).

Наконец, поскольку в условии ничего не сказано о начальных скоростях шариков, задача еще более усложнится, если начальные скорости шариков были направлены произвольным образом. В этом случае мы получим некий аналог решения астрономической задачи о движении двух тел (законы Кепплера), усложненной наличием среды.

Отметим, что мы не учитываем вязкость воды, которая (при ее учете) также будет влиять на кинематику шариков.

Задача 2

Через отверстие в крыше собора внутрь храма мог проникать солнечный свет. То место, куда попадал луч, связано со временем суток. Таким образом, это отверстие могло использоваться в качестве часов для определения времени. Кроме того, неправильные показания таких «часов» служили сигналом о повреждении храма и необходимости его ремонта.

Задача 3

Должно быть третье тело, которое может взять у столкнувшихся атомов энергию. Одним из основных законов физики является закон сохранения энергии. При взаимодействии двух атомов водорода может произойти химическая реакция, в результате которой появится молекула водорода H_2 . Однако при этом выделится энергия (из современных источников известно, что это 436 кДж/моль). Несмотря на то, что в пересчете на одну молекулу эта энергия очень маленькая, должен быть третий объект (тело), который эту энергию заберет. Таким образом, при наличии только двух атомов водорода молекула не образуется. Нужна третья частица, которая может взять у столкнувшихся атомов энергию.

Задача 4

Сначала оценим, как изменит выстрел скорость кометы. Считая удар абсолютно неупругим, из закона сохранения импульса, в системе отсчета кометы (т. е. считая скорость кометы равной 0) получим

$$M_{\text{снаряда}} V_{\text{снаряда}} = (M_{\text{снаряда}} + M_{\text{кометы}}) \Delta V_{\text{кометы}},$$

где $M_{\text{снаряда}}$, $M_{\text{кометы}}$ – массы снаряда и кометы соответственно, $V_{\text{снаряда}}$ – скорость снаряда, $\Delta V_{\text{кометы}}$ – приращение скорости кометы (точнее тела «комета + снаряд»). Масса снаряда очень мала по сравнению с массой кометы, так что достаточно точную оценку $\Delta V_{\text{кометы}}$ дает формула

$$\Delta V_{\text{кометы}} = V_{\text{снаряда}} \frac{M_{\text{снаряда}}}{M_{\text{кометы}}}.$$

В нашем случае $V_{\text{кометы}} = 0.02$ м/с.

Чтобы оценить, хватит ли этого, нужно сравнить скорости кометы на одном и том же афелийном расстоянии a на орбитах с перигелийными расстояниями $p_0 = 1$ а.е. и $p_1 = 1.1$ а.е.

Вот очень простой вывод:

Для того, чтобы тело (комета) из перигелия улетело в афелий ее кинетическая энергия в перигелии должна быть равной (закон сохранения энергии):

$$\frac{m_{\text{кометы}} V_p^2}{2} = GM_{\text{Солнца}} m_{\text{кометы}} \left(\frac{1}{p} - \frac{1}{a} \right),$$

где V_p – скорость кометы в перигелии, G – гравитационная постоянная, $m_{\text{кометы}}$ – масса кометы. Вспомним второй закон Кеплера, согласно которому:

$$\frac{V_a}{V_p} = \frac{p}{a}.$$

Отсюда легко получить ΔV_a

$$\Delta V_a = (V_{a_1} - V_{a_0}) = \frac{GM_{\text{Солнца}}}{a} (\sqrt{p_1} - \sqrt{p_0}),$$

где V_{a_0} и V_{a_1} – скорости кометы в афелии (напомним, на одном и том же афелийном расстоянии a , но на орбитах с перигелийными расстояниями p_0 и p_1 соответственно).

У нас $p_1 = 1$ а.е., $p_2 = 1.1$ а.е. Масса Солнца $2 \cdot 10^{30}$ кг, $G = 6.67 \cdot 10^{-11} \text{ м}^3 \cdot \text{с}^{-2} \cdot \text{кг}^{-1}$, а афелийное расстояние по условиям задачи $\approx 1.5 \cdot 10^{16}$ м. Считаем и получим $\Delta V_a = 0.015$ м/с.

Вывод: т. к. удар снаряда меняет скорость кометы на $\Delta V_{\text{кометы}} = 0.02$ м/с, а нам необходимо изменить скорость кометы в афелии на $\Delta V_a = +0.015$ м/с, то спасти Землю от столкновения можно. Только стрелять нужно так, чтобы скорость кометы в афелии увеличилась, т. е. снаряд должен ударить в направлении движения кометы по орбите.

Задача 5

Максимальное ускорение бегуна a определяется произведением ускорения свободного падения на коэффициент трения ботинок и дорожки. Время, необходимое для преодоления дистанции l , равно $t = \sqrt{2al}$. Ускорение свободного падения на Луне примерно 1.5 м/с^2 , а коэффициент трения 0.7, получаем время на уровне 8 секунд. Комментарий: при низком старте бегун вначале придает центру масс вертикальное ускорение, что увеличивает давление на дорожку и позволяет на первых метрах разгона ускоряться быстрее указанного предела.

EARTH & UNIVERSE

5 (335), 2020

September–October

TABLE OF CONTENT:

Lev M. ZELENYI Editorial	3
Vladimir S. GORADZHANOV, Victoria A. TOPTUN, Ivan Yu. ZOLOTUKHIN, Ivan Yu. KATKOV, Igor V. CHILINGARYAN The Search for Black Holes of Intermediate Masses with Ground-based and Space-borne Observatories and the Virtual Observatory Data	5
Alexandr V. STEPANOV The Sun in Terahertz Waves	15
XXI CENTURY COSMONAUTICS	
Igor A. LISSOV 2020 Missions to Mars	29
Vladislava I. ANANYEVA The Hidden Ocean of Ceres	43
EDUCATION	
Alina V. GOLOVANOVA, Konstantin A. MAGARYAN, Andrei V. NAUMOV Young Physicists Quiz of the RAS Physical Sciences Division. Tasks	47
PEOPLE OF SCIENCE	
Alina I. EREMEEVA The one who demolished to Martian canali... To the 150 Years of Eugene Michel Antoniadi	53
Pavel A. PAKSHIN, Natalya A. PAKSHINA Mikhail Vasilyevich Lyapunov, the Astronomer and Observer	66
HISTORY OF SCIENCE	
Leonid A. VEDESHIN, Sergey A. GERASYUTIN The First Soviet Experiments on the Moon. To the 50th Anniversary of Lunokhod-1	79
Vladimir S. SUDAKOV Russian Engines on American Rockets	95
EDUCATION	
Young Physicists Quiz of the RAS Physical Sciences Division. Tasks	106
Table of Content and Selected Abstracts	110

Front page: This image from ESA's Mars Express shows Terra Cimmeria, a region found in the southern highlands of Mars. This oblique perspective view was generated using a digital terrain model and Mars Express data gathered on 11 December 2018 during Mars Express Orbit18904. The ground resolution is approximately 13 metres per pixel and the images are centred at about 171° East and 40° South. This image was created using data from the nadir and colour channels of the High Resolution Stereo Camera (HRSC). The nadir channel is aligned perpendicular to the surface of Mars, as if looking straight down at the surface.
Image credit & Copyright: ESA/DLR/FU Berlin, CC BY-SA 3.0 IGO

EARTH & UNIVERSE

5 (335), 2020

September–October

The Search for Black Holes of Intermediate Masses with Ground-based and Space-borne Observatories and the Virtual Observatory Data

Vladimir S. GORADZHANOV^{1,2}, Victoria A. TOPTUN^{1,2},
Ivan Yu. ZOLOTUKHIN², Ivan Yu. KATKOV^{2,4}, Igor V. CHILINGARYAN^{2,3}

¹ Lomonosov Moscow State University

² Sternberg Astronomical Institute, Lomonosov Moscow State University

³ Smithsonian Astrophysical Observatory, USA

⁴ New York University Abu Dhabi, UAE

DOI: 10.7868/S0044394820050011

Black holes, mysterious objects, have attracted scientists for several decades. Today we confidently observe two types of black holes, the black holes of stellar masses that occur as the result of the collapse of massive stars and supermassive blackholes in the central parts of galaxies. However in the late eighties of the XXth century astronomers found observational evidences for one more type of black holes, the black holes of intermediate masses. In this article we discuss how modern ground-based and space-borne telescopes and the Virtual observatory help astronomers to search and discover the black holes of this particular type.

The Sun in Terahertz Waves

Alexander V. STEPANOV

The Central Astronomical Observatory of the Russian Academy of Sciences at Pulkovo

DOI: 10.7868/S0044394820050023

Hundred years ago astronomers had access to only the optical wavelength band. However in the XX century developing science and technology opened for scientists many new wavelength bands (radio, X-rays, gamma rays etc.), which allowed us to look much farther and deeper. In this article we discuss how our knowledge about the lower layers of the solar atmosphere progressed due to the sub-terahertz and terahertz observations.

Индекс 70336

Земля и Вселенная, 5/2020

Редакторы С.А. Герасютин, О.В. Закутняя, Д.А. Кононов

Оператор ПК Н.Н. Токарева

Корректоры А.Ю. Обод, С.О. Розанова

Верстка макета Н.В. Мелкова

Просим обращаться

по вопросам публикации материалов:

(495)276-77-35 (доб. 42-31), e-mail: zevs@naukaran.com

по вопросам сотрудничества:

(495)276-77-35 (доб. 43-01 или 43-02),

e-mail: journals@naukaran.com

Журнал зарегистрирован Государственным комитетом

Совета министров СССР по печати 28 июня 1991 г.

Свидетельство о регистрации № 2119

www.naukabooks.ru/zhurnali/katalog/zemlja-i-vselennaja/

Все права защищены.

Перепечатка материалов возможна только с разрешения редакции.

Мнение редакции может не совпадать с мнением автора.

Все иллюстрации в статьях предоставлены авторами.

*Ответственность за точность и содержание рекламных
материалов несут рекламодатели*

12+

Сдано в набор 24.08.2020 г. Подписано к печати 23.10.2020 г.

Дата выхода в свет 10.11.2020 г. Формат 70 × 100¹/₁₆

Цифровая печать Усл.печ.л. 9.75 Уч.-изд.л. 10.0 Бум.л. 3.75

Тираж 1000 экз. Зак. 20 Цена свободная

Учредители: РАН, ФГУП «Издательство «Наука»

Редакция и издатель: ФГУП «Издательство «Наука»

Адрес: 117997 Москва, ул. Профсоюзная, 90

Отпечатано в типографии ФГУП «Издательство «Наука»

Адрес: 121099 Москва, Шубинский пер., 6

АкадемКнига

Букинистический отдел осуществляет покупку и продажу научной литературы, книг по искусству, антикварных изданий, старинных открыток, гравюр и фотографий

Для оценки крупных библиотек выезжаем на дом

Принимаем заказы

Формируем библиотеки

Адрес: 101000, Москва, Б. Спасоглинишевский пер., 8, стр. 4

E-mail: bukinist@naukaran.com

Справки по телефону:

8 (495) 624-7219



Реклама



НОВИНКИ И АКЦИИ В СОЦИАЛЬНЫХ СЕТЯХ



[instagram.com/naukapublishers](https://www.instagram.com/naukapublishers)



[facebook.com/naukapublishers](https://www.facebook.com/naukapublishers)



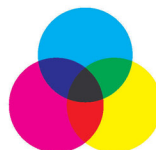
vk.com/naukapublishers



- переплетные работы
- тиснение фольгой
- цифровая печать
- офсетная печать
- ламинирование
- цветоделение
- сканирование
- брошюровка
- лакирование
- цветопроба
- нумерация
- высечка
- верстка
- СТР

Типографии ФГУП "Издательство "Наука"
www.tnauka.ru

- ▶ Разумная ценовая политика
- ▶ Высокое качество продукции
- ▶ Реальные сроки выполнения заказов
- ▶ Работа высококлассных профессионалов



- афиши
- календари
- удостоверения
- адресные папки
- визитные карточки
- фирменные бланки
- брошюры, журналы
- эксклюзивные издания
- полноцветные плакаты
- художественные альбомы
- книги в твердом переплете
- листовки, рекламные буклеты
- наклейки на бумажных материалах

- ◆ Удобное месторасположение
- ◆ Тиражи от 20 экземпляров

Москва

Санкт-Петербург

Новосибирск

КНИГИ ИЗДАТЕЛЬСТВА "НАУКА"

"Наука"
Индекс 70336

ПО 50 РУБ.

акция проводится в сети магазинов "Академкнига"
и в интернет-магазине naukabooks.ru



ЕЩЕ БОЛЬШЕ КНИГ И БОЛЬШЕ СКИДОК

до 80%

акция проводится в сети магазинов "Академкнига"
и в интернет-магазине naukabooks.ru

условия акций на сайте naukabooks.ru

Реклама